

Interreg



EVROPSKÁ UNIE

Rakousko-Česká republika

Evropský fond pro regionální rozvoj



STUDIJNÍ MATERIÁLY PRO OBOR STROJÍRENSTVÍ

LERNMATERIALIEN FÜR DEN BEREICH MASCHINENBAU

STUDY MATERIAL FOR THE FIELD OF MECHANICAL ENGINEERING

ČESKO / NĚMECKO / ANGLICKÝ
TSCHECHISCH / DEUTSCH / ENGLISCH
CZECH / GERMAN / ENGLISH



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA



EVROPSKÁ UNIE

Studijní materiály pro obor strojírenství

Lernmaterial für den Bereich Maschinenbau

Study material for the field of mechanical engineering

Tato publikace vznikla na Vysoké škole technické a ekonomické v Českých Budějovicích a University of Applied Sciences Upper Austria v rámci programu Interreg jako součást projektu „Metodický koncept k efektivní podpoře klíčových odborných kompetencí s využitím cizího jazyka“, registrační číslo 62.

Projekt “CLIL” je financován s podporou Evropské komise, Evropského fondu pro regionální rozvoj (EFRE) a spolkové země Horní Rakousko v rámci programu INTERREG V-A Rakousko-Česká republika 2014-2020.



Diese Publikation entstand in Kooperation zwischen dem Institut für Technik und Wirtschaft in Budweis und der Fachhochschule Oberösterreich im Rahmen des Interreg-Projekts „Methodenkonzept zur effektiven Unterstützung von beruflichen Schlüsselkompetenzen in einer Fremdsprache“, Projektnummer 62.

Das Projekt "CLIL" wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission, des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Oberösterreich im Rahmen des Programms INTERREG V-A Österreich-Tschechische Republik 2014-2020 finanziert.



This publication was created in cooperation between the Institute of Business and Technology in České Budějovice and University of Applied Sciences Upper Austria within the framework of the Interreg project “Methodological concept to effectively support key professional competences using foreign language”, reg. No. 62.

The project “CLIL” has been funded with support from the European Commission, the European Fund for Regional development (EFRE), and the Federal State of Upper Austria under the program INTERREG V-A Austria-Czech Republic 2014-2020.



Manažeři projektu / Projektleitung / Project Lead

Mgr. Libuše Turinská
Mag. Dr. Martina Gaisch

Autoři / Autor*innen / Authors

Ing. Bc. Karel Antoš
Ing. Jiří Čejka, Ph.D.
Mgr. Václav Dobiáš
Mgr. Stanislav Jíra
Mgr. Tomáš Náhlík, Ph.D.
MhDr. Helena Pavličíková, CSc.

Editoři / Editor*innen / Editors

Sabrina Menger, MSc.
Victoria Rammer, MMA
Ing. Michal Ruschak

Vydavatel / Herausgeber / Publisher

Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích
Okružní 517/10
370 01 České Budějovice

Rok vydání / Erscheinungsjahr / Year of publication

2019

ISBN:

Úvod	16
Úvod do strojního inženýrství	17
1. Úvod do strojírenské technologie	17
2. Kompozitní materiály	21
3. Plastikářství.....	29
4. Polotovary a předvýrobky	40
5. Povrchové úpravy	53
6. Třískové obrábění.....	60
7. Technologie montáže a oprav	81
Strojní inženýrství 1	96
1. Technologické postupy.....	96
2. Tepelné zpracování.....	110
3. Technologické postupy s podporou počítače.....	117
4. Tváření za studena.....	124
Strojní inženýrství 2	137
1. Značení technických materiálů.....	137
2. Fyzikální podstata a mechanismus plastické deformace	143
3. Odvození základních veličin plastické deformace	149
4. Vliv teploty na plastické vlastnosti materiálu.....	154
5. Rozdělení technologických tvářecích procesů.....	159
Strojní inženýrství 3	177
6. Rapid prototyping.....	177
7. Výroba oceli.....	185
8. Značení oceli.....	191
9. Neželezné kovy a jejich slitiny	196
10. Prášková metalurgie.....	206
11. Tepelné zpracování.....	211
Technologie lití kovů pod tlakem	218
1. Charakteristika tlakového lití.....	218
2. Tlakové licí stroje	221
3. Hlavní konstrukční uzly tlakových licích strojů	224
4. Formy pro lití kovů pod tlakem	227
5. Metodika navrhování konstruování vtokových soustav.....	231
6. Technologické faktory tlakového lití	234
7. Vliv technologických faktorů na mechanické vlastnosti odlitků	236
8. Chyby odlitků.....	245

9.	Přídavná zařízení k tlakovým licím strojům	250
10.	Tavení slitin.....	253
11.	CA technologie v slévárenství.....	255
12.	Speciální technologie v slévárenství.....	258
13.	Seznam použité literatury	261
Formy a lití kovů		262
1.	Výroba forem a jader.....	262
2.	Namáhání forem při odlévání.....	271
3.	Tuhnutí a chlazení odlitků	293
4.	Tavení	301
5.	Vlastnosti roztavených kovů a slitin	304
6.	Kovy a slitiny v slévárenství a jejich označování.....	306
7.	Výroba odlitků	308
8.	Modelové zařízení	312
Části a mechanismy strojů.....		316
1.	Části a mechanismy strojů.....	316
2.	Spoje šrouby a závity (šroubové a závitové spoje).....	319
3.	Únosnost a pevnost při provozu	328
4.	Kolíkové, nýtové a čepové spoje – konstrukční uspořádání, návrh a kontrola.....	331
5.	Tvarové spoje hřídele s nábojem – pomocí per, klínů a drážkování	339
6.	Silové spoje hřídele s nábojem – nalisované a svěrné	351
7.	Pružné spoje	359
8.	Materiálové spoje – svarové, pájené, lepené	364
9.	Dynamické (proměnlivé) zatěžování a namáhání strojních částí TS - dynamická (únavová) pevnost.....	373
10.	Hřídele	380
11.	Kluzná ložiska.....	384
12.	Valivá ložiska.....	389
13.	Hřídelové spojky	396
14.	Seznam použité literatury	401
Materiály ve strojním inženýrství.....		405
1.	Technické materiály v současné praxi	405
2.	Všeobecné vlastnosti materiálů	409
3.	Kritéria pro volbu materiálu	413
4.	Označování materiálů.....	426
5.	Číselné označování ocelí.....	431

6.	Hodnocení povrchu materiálů.....	439
7.	Měřicí přístroje a programy.....	448
8.	Materiály v současné praxi výroby automobilů I.	456
9.	Materiály v současné praxi výroby automobilů II.	463
10.	Nerezové materiály	472
11.	Švédské oceli	477
12.	Kompozitní materiály I.	482
13.	Kompozitní materiály II.	487
	Provoz a údržba strojů.....	492
1.	Základní pojmy	492
2.	Požadavky a zajištění provozní spolehlivosti, teorie údržby	494
3.	Hodnocení účinnosti údržby.....	496
4.	Rizika údržby.....	498
5.	Kompaktní audit údržby	500
6.	Řízení spolehlivosti	504
7.	Metody řízení spolehlivosti	507
8.	Zkoušení spolehlivosti a zkušební plány	511
9.	Modelování a kvantifikace spolehlivosti systémů	514
10.	Výkonnost strojů	518
11.	Výkonnost obráběcího stroje a jeho provozní nasazení	521
12.	Tribologie a tribotechnika	525
	Plošné tváření.....	529
1.	Tepelné zpracování.....	529
2.	Technologie stříhání plechů	537
3.	Přesné stříhání a speciální způsoby stříhání.....	549
4.	Technologie objemového tváření – protlačování.....	558
5.	Ohýbání	566
6.	Speciální způsoby kování.....	579
	Statika.....	586
1.	Základní pojmy, principy a axiomy statiky.....	586
2.	Pohyblivost a vazby hmotných objektů.....	598
3.	Hmotný bod v rovině.....	601
4.	Těleso v prostoru.....	609
5.	Centrální rovinné silové soustavy, rovnováha hmotného bodu	611
6.	Rovnováha centrální rovinné silové soustavy	614
7.	Všeobecné silové soustavy. Rovnoběžné silové soustavy. Rovnováha tělesa.	618

8.	Všeobecná prostorová silová soustava	621
9.	Statická analýza soustav těles	624
10.	Rovinné prutové soustavy	628
11.	Těžiště hmotných a geometrických útvarů	632
12.	Pasivní odpory	634
	Inovační procesy.....	638
1.	Co je Proces?	638
2.	Konkurenční výhoda, konkurenceschopnost	643
3.	Sběr informací, tvořivost	649
4.	Inovační příležitost	654
5.	Zákazník, komunikace se zákazníkem	658
6.	Metody rozhodování	662
7.	Analýza trendů.....	667
8.	Analýza produktu	673
9.	Inovace výrobků	679
10.	Inovace výrobních systémů	686
11.	Podnikatelský záměr.....	692
12.	Sériová výroba a uvedení na trh, životní cyklus výrobku	694
	Einleitung.....	699
	Einführung in die Maschinenbautechnik.....	700
1.	Einführung in die Ingenieurtechnik	700
2.	Verbundwerkstoffe	704
3.	Kunststoffe	711
4.	Halbfabrikate	724
5.	Oberflächenveredelung.....	737
6.	Spänebearbeitung	745
7.	Montage- und Reparaturtechnik.....	768
	Maschinenbau 1	782
1.	Technologische Verfahren.....	782
2.	Wärmebehandlung.....	796
3.	Technologische Verfahren mit Computerunterstützung	804
4.	Kaltumformung	812
	Maschinenbau 2	825
5.	Kennzeichnung von technischen Materialien	825
6.	Physikalische Eigenschaften und Mechanismus der plastischen Verformung.....	832
7.	Grundgrößen der plastischen Verformung	839

8.	Einfluss der Temperatur auf die plastischen Eigenschaften des Materials.....	845
9.	Klassifizierung der technologischen Umformprozesse	850
Maschinenbau 3		869
1.	Schnelles Prototyping	869
2.	Stahlproduktion.....	877
3.	Stahlmarkierung	883
4.	Nichteisenmetalle und deren Legierungen	888
5.	Pulvermetallurgie	898
Technologie des Druckgießens von Metallen		903
1.	Druckgusseigenschaften.....	903
2.	Druckgießmaschinen	906
3.	Hauptbauknoten von Druckgießmaschinen.....	910
4.	Druckgießformen.....	914
5.	Methodik zur Entwicklung von Anschnittsystemen	919
6.	Technologische Faktoren des Druck-gusses.....	922
7.	Technologische Faktoren, die die mechanischen Eigenschaften von Gussteilen beeinflussen 924	
8.	Gussfehler.....	941
9.	Zusatzeinrichtungen zu den Druckgießmaschinen.....	947
10.	Das Schmelzen von Legierungen	950
11.	CA-Technologien in der Gießerei.....	952
12.	Spezielle Technologien in der Gießerei	956
13.	Literatur	959
Formen und Gussteile		960
1.	Wärmebehandlung.....	960
2.	Technologien zum Schneiden von Blechen	967
3.	Feinschneiden und spezielle Scherverfahren.....	978
4.	Massen-Umformungen-Technologien-Extrusion	987
5.	Biegen.....	996
6.	Spezielle Schmiedeverfahren	1009
Maschinenelemente und Mechanik.....		1016
1.	Einführung in die Verbindungstechnik im Maschinenbau	1016
2.	Schraub und Gewindeverbindungen.....	1020
3.	Belastung und Festigkeit im Betrieb.....	1028
4.	Dübel, Niet und Stiftverbindungen Statik, Design und Kontrolle.....	1032
5.	Formung von Wellen-Naben-Verbindungen - durch Federn, Keile und Nuten	1040

6.	Starke Verbindungen von Welle und Nabe - Crimpen und Klemmen.....	1054
7.	Flexible Verbindungen.....	1063
8.	Materialverbindungen - geschweißt, gelötet, geklebt Spoje svary (svarové spoje)	1068
9.	Dynamische (variable) Belastung und Beanspruchung von Maschinenteilen TS dynamische (Ermüdungs) Festigkeiten Základní poznatky.....	1079
10.	Wellen	1086
11.	Gleitlager	1089
12.	Kugellager	1094
13.	Wellenkupplungen	1102
14.	Literatur	1107
	Materialien der Maschinenbauindustrie.....	1111
1.	Industrielle Materialien in der aktuellen Praxis	1111
2.	Allgemeine Materialeigenschaften	1116
3.	Kriterien für die Materialauswahl	1120
4.	Kennzeichnung von Materialien.....	1133
5.	Numerische Symbole aus Stahl	1138
6.	Bewertung der Materialoberfläche.....	1145
7.	Messgeräte und Programme.....	1154
8.	Materialien in der laufenden Produktion von Automobilen I.	1163
9.	Materialien in der aktuellen Automobilindustrie II.....	1170
10.	Rostfreie Materialien.....	1179
11.	SSAB (schwedische rostfreie) Stähle	1184
12.	Verbundwerkstoffe I.....	1189
13.	Verbundwerkstoffe II.....	1195
	Maschinenbetrieb und wartung.....	1200
1.	Grundbegriffe	1200
2.	Anforderungen und Sicherstellung der Betriebssicherheit, Wartungstheorie Provozní spolehlivost	1203
3.	Bewertung der Instandhaltungs-effektivität.....	1205
4.	Instandhaltungsrisiken	1208
5.	Instandhaltungsaudit.....	1211
6.	Zuverlässigkeitsmanagement.....	1215
7.	Methoden des Zuverlässigkeitsmanagements.....	1221
8.	Zuverlässigkeitstests und Testpläne.....	1224
9.	Modellierung und Quantifizierung der Systemzuverlässigkeit	1228
10.	Maschinenleistung	1232
11.	Leistung und Bedienung von Werkzeugmaschinen	1235

12. Tribologie und tribotechnik.....	1239
Blechverarbeitung.....	1243
1. Wärmebehandlung.....	1243
2. Technologien zum Schneiden von Blechen.....	1250
3. Feinschneiden und spezielle Scherverfahren.....	1261
4. Massen-Umformungen-Technologien-Extrusion.....	1270
5. Biegen.....	1280
6. Spezielle Schmiedeverfahren.....	1294
Statik.....	1301
1. Statische Grundbegriffe, Prinzipien und Axiome.....	1301
2. Mobilität und Verknüpfungen von materiellen Objekten.....	1313
3. Partikel in der Ebene.....	1316
4. Steif im Raum.....	1324
5. Koplanare Kraftsysteme, Partikelgleichgewicht.....	1326
6. Gleichgewichtszustand des zentralen planaren Kraftsystems.....	1331
7. Allgemeine Kraftsysteme. Parallele Kraftsysteme. Gleichgewicht der starren Körper.....	1335
8. Allgemeines Raumkraftsystem.....	1338
9. Statische Analyse des Körpersystems.....	1342
10. Planare Stangensysteme.....	1347
11. Schwerpunkt der physikalischen und geometrischen Objekte.....	1351
12. Passiver Widerstand.....	1354
Innovationsprozesse.....	1359
1. Prozess, Innovation, Innovationsmanagement.....	1359
2. Wettbewerbsvorteil, Wettbewerbsfähigkeit.....	1365
3. Informationssammlung, Kreativität.....	1371
4. Innovationspotenziale.....	1377
5. Kunden, Kundenkommunikation.....	1381
6. Entscheidungsfindungs-methoden.....	1385
7. Trendanalyse.....	1389
8. Produktanalyse.....	1393
9. Produktinnovation.....	1399
10. Innovieren von Herstellungssystemen.....	1406
11. Businessplan.....	1411
12. Serienfertigung und Marketing, Produktlebenszyklus.....	1414
Introduction.....	1420
Introduction to mechanical engineering technologies.....	1421

1. Introduction to engineering technology	1421
2. Composite materials.....	1425
3. Plastics.....	1433
4. Semi-finished products and semi-finished products.....	1444
5. Surface treatment	1456
6. Chip machining.....	1463
7. Assembly and repair technology	1482
Engineering technologies 1	1494
1. Technological procedures	1494
2. Heat treatment.....	1509
3. Technological procedures with computer support	1517
4. Cold forming.....	1524
Engineering technologies 2	1536
1. Marking of technical materials.....	1536
2. Physical properties and mechanism of plastic deformation	1540
3. Basic quantities of plastic deformation.....	1546
4. Influence of temperature on plastic properties of material	1550
5. Classification of technological forming processes.....	1555
6. Literature.....	1571
Engineering technologies 3	1572
1. Rapid prototyping.....	1572
2. Steel Production	1582
3. Steel Marking.....	1587
4. Non-ferrous metals and their alloys.....	1593
5. Powder metallurgy	1605
6. Thermal treatment.....	1610
Technology of die casting of metals.....	1618
1. Die casting characteristics	1618
2. Die-casting machines.....	1619
3. Main construction nodes of die-casting machines.....	1622
4. Die-casting molds	1625
5. Methodology of developing gating systems	1629
6. Technological factors of die-casting.....	1631
7. Technological factors influencing mechanical properties of castings.....	1632
8. Casting failures	1643
9. Additional devices to the die casting machines	1648

10.	The melting of alloys	1650
11.	CA technologies in foundry	1653
12.	Special technologies in foundry	1656
13.	Literature	1659
	Moulds and casting	1660
1.	Manufacturing moulds and cores	1660
2.	Moulds stress in casting	1668
3.	Casting solidification and cooling	1686
4.	Fusing.....	1692
5.	Properties of melted metals and alloys.....	1696
6.	Metals and alloys in foundry and their marking	1698
7.	Production of castings	1701
8.	Pattern making equipment	1705
9.	Literature.....	1709
	Machine elements and mechanics.....	1710
10.	Introduction to joints in mechanical engineering	1710
2.	Screwed joints and threaded joints.....	1714
3.	Structure.....	1715
4.	Load and strenght operation.....	1722
5.	Dowel, Rivet and Pin joints – structural arrangements, design and control.....	1726
6.	From shaft-hub joints – by means of springs, wedges and slotting.....	1734
7.	Power shaft-hub joints of shaft and hub – crimping and clamping	1745
8.	Flexible joints.....	1752
9.	Material joints – welded, soldered, bonded	1756
10.	Dynamic (Variable) load and stressing machine parts TS – dynamic (fatigue) strength...	1766
11.	Shafts	1773
12.	Plan Berarings.....	1776
13.	Ball bearings	1780
14.	Shaft couplings	1786
11.	Literature	1791
	Materials in machine industry.....	1795
1.	Industrial Materials in Current Practice	1795
2.	General Material Properties.....	1798
3.	Criteria for Choosing Materials	1802
4.	Marking of Materials	1815
5.	Numeric Symbols of Steel.....	1820

6.	Evaluation of Material Surface	1827
7.	Measurement equipment and programmes.....	1836
8.	Materials in Current Production of Automobiles I.	1844
9.	Materials in Current Automotive II.	1850
10.	Stainless Materials.....	1858
11.	SSAB (Swedish Stainless) Steels.....	1863
12.	Composite Materials I.	1868
13.	Composite Materials II.	1873
	Machine operation and maintenance	1878
1.	Basic terms	1878
2.	Requirements and ensuring operational reliability, maintenance theory.....	1881
3.	Evaluation of maintenance effectiveness	1883
4.	Maintenance risks	1885
5.	Maintenance audit	1887
6.	Reliability management.....	1892
7.	Reliability management methods	1896
8.	Reliability testing and test plans	1898
9.	Modelling and quantification of system reliability.....	1901
10.	Machine performance	1905
11.	Machine tool performance and operation.....	1908
12.	Tribology and tribotechnics.....	1911
	Sheet metal forming.....	1915
1.	Thermal treatment	1915
2.	Sheet metal shearing technologies	1923
3.	Precision blanking and special shearing methods.....	1938
4.	Bulk-forming Technologies – Extrusion.....	1948
5.	Bending.....	1957
6.	Special forging methods	1972
	Statics	1978
1.	Basic Statics Terms, Principles and Axioms	1978
2.	Mobility and links of material objects	1989
3.	Particle in plane	1992
4.	Rigid in space	2000
5.	Coplanar force systems, particle equilibrium.....	2002
6.	Central planar force system equilibrium.....	2005
7.	General force systems. Parallel force systems. Equilibrium of rigid bodies	2008

8.	General spatial force system	2011
9.	Static analysis of body system.....	2014
10.	Planar bar systems	2018
11.	Centre of gravity of physical and geometric objects.....	2021
12.	Passive resistance	2023
	Innovative processes	2026
1.	Process, Innovation, Innovation Management	2026
2.	Competitive advantage, competitiveness	2032
3.	Collection of information, creativity	2038
4.	Innovative Opportunity	2044
5.	Customer, customer communication.....	2048
6.	Decision making methods	2052
7.	Trend analysis.....	2057
8.	Product analysis.....	2061
9.	Product innovation.....	2067
10.	Innovation of production systems.....	2075
11.	Business plan	2082
12.	Serial production and marketing, product lifecycle	2084

STROJÍRENSTVÍ - ČESKO

ÚVOD

Předkládaná odborná kniha s názvem „Studijní materiály pro obor strojírenství“ byla připravena v rámci projektu „Metodický koncept k efektivní podpoře klíčových odborných kompetencí s využitím cizího jazyka – CLIL jako výuková strategie na vysoké škole“ realizovaného s finanční podporou Evropské unie, programu INTERREG V-A Rakousko – Česká republika 2014 – 2020.

Projekt je realizován za spolupráce dvou technicky zaměřených vysokoškolských institucí, Vysoké školy technické a ekonomické v Českých Budějovicích, Česká republika, a University of Applied Sciences, Horní Rakousko. Jedním z hlavních výstupů projektu byla příprava odborných didaktických materiálů pro čtyři obory vyučované na partnerských institucích (Informatika, Logistika a doprava, Stavebnictví a Strojírenství), a to ve třech klíčových jazycích: českém, německém a anglickém. Jako výuková metoda byla zvolena metoda CLIL (Content and Language Integrated Learning – obsahově a jazykově integrované učení), kombinující výuku odborného předmětu v kombinaci s výukou cizího jazyka. Připravené materiály tak mají velký význam nejen jako výukový a studijní materiál na odborných vysokých školách, ale poslouží i expertům z konkrétních oborů a zaměstnancům firem působících v přeshraničním regionu, kteří mají možnost zlepšit si své odborné jazykové znalosti.

Na přípravě materiálů se podíleli vyučující z obou partnerských institucí i experti z praxe z obou příhraničních regionů. Materiály z oboru Strojírenství byly připraveny vyučujícími odborných předmětů. Jejich témata byla vybrána a konzultována ve spolupráci s experty z praxe. Celkově tak bylo vybráno a zpracováno následujících dvanáct témat: Úvod do strojírenství, Strojní inženýrství 1, Strojní inženýrství 2, Strojní inženýrství, Technologie lití kovů pod tlakem, Formy a lití kovů, Části a mechanismy strojů, Materiály ve strojírenství, Provoz a údržba strojů, Plošné tváření, Statika, Inovační procesy. Rozsah témat byl zvolen tak, aby odpovídal potřebám praxe a zahrnoval co nejširší škálu, od prezentování základů a teorie po konkrétní praktické problémy, zahrnuje i témata s interdisciplinárním přesahem. Každé z témat je navíc rozděleno do dalších podkapitol. Při výuce i studiu je tak možné prostudovat celý nabízený rozsah i vybrané kapitoly. Materiály jsou dostupné online, každý student i učitel tak má možnost sestavit si obsah kurzu či výuky dle svých konkrétních potřeb.

Jak již bylo zmíněno výše, materiály jsou připravené trojjazyčně. Každé připravené téma bylo následně zpracováno lingvistickými odborníky tak, aby odpovídalo principům metody CLIL a umožnilo tak osvojení si nejen odborných, ale i jazykových znalostí. Znalost cizího jazyka na odborné úrovni se dnes jeví jako klíčová při získání vhodného zaměstnání. Tato publikace tak může posloužit nejen vyučujícím odborných předmětů a studentům odborných vysokých škol, ale i absolventům a zaměstnavatelům a zaměstnancům firem působícím ve výše zmíněných oblastech v přeshraničním regionu i mimo něj, což představuje její značnou přidanou hodnotu.

ÚVOD DO STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

1. Úvod do strojírenské technologie

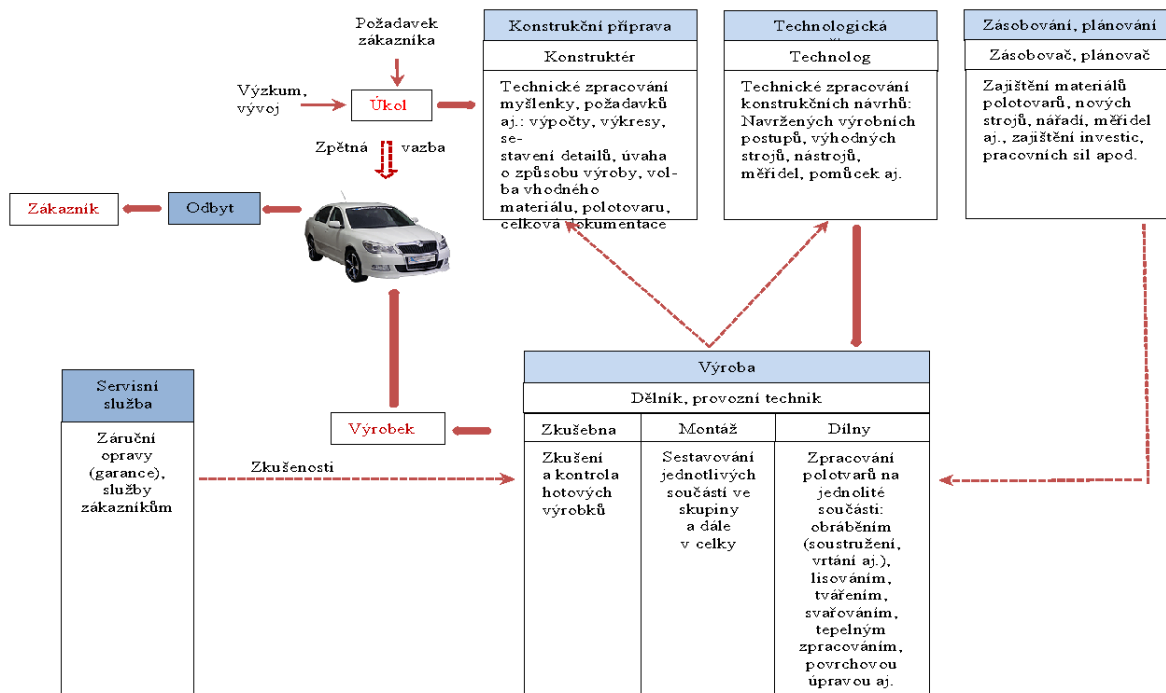
- Jednoduchá bruska se objevila v roce 1480. Její pohon byl se šlapadlem a klikou s ojnicí.
- V r. 1565 se objevil, první řezací stroj na železo a následně vrtačka (1684) na vodní pohon.
- jednotlivé stroje se zdokonalovali např. kovový soustruh se suportem, který umožňoval řezat i závity, se objevil po roce 1800.

V roce 1818 byl sestrojen S. Morthem první náskres frézovacího stroje:

1.1. Strojírenská technologie 1

- je úvodním materiálem, který zabezpečuje úvodní výklad technologií používaných v strojírenství. Podrobnější seznámení se strojařskými technologiemi bude v dalších odborných předmětech zabezpečujících Katedrou strojírenství.
- **Metalurgie** se zabývá zpracováním surovin na materiál a jeho vlastnostmi. Tuto část technologie dělíme na těžkou metalurgii a strojařskou metalurgii. Těžká metalurgie se zabývá výrobou železných a neželezných kovů z rudy, práškových kovů a zpracováním vyrobených kovů na polotovary (plechy, tyčový materiál, drát apod.).
- **Strojařská metalurgie** se vyznačuje výrobou polotovarů odléváním, tvárněním, tepelným zpracováním (změnami vnitřní struktury materiálu jako jsou kalení, žíhání, popouštění), a nerozebíratelným spojením materiálu (svařování, pájkování).
- **Strojařská technologie** řeší technologií obrábění, montáže a povrchových úprav.
- **Technologií povrchových úprav** dosahujeme změnou vzhledu výrobku nebo vlastností povrchu.

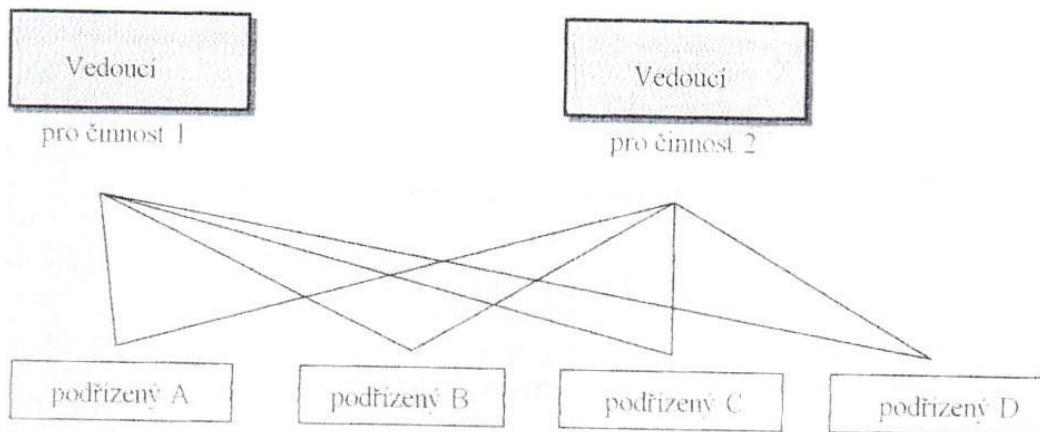
1.2. Příprava a organizace výroby



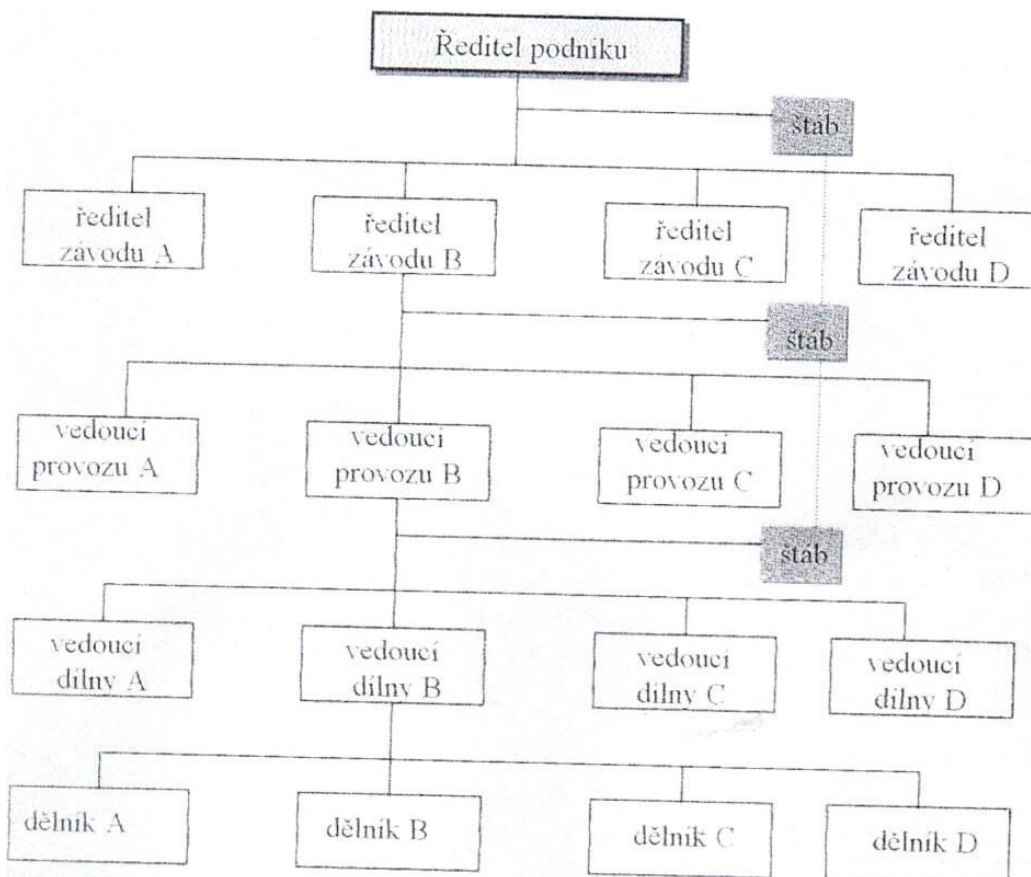
1.3. Organizační struktury podniku

- Funkční s vícenásobnou podřadností
- Štábní
- Divizní
- Kombinovaná

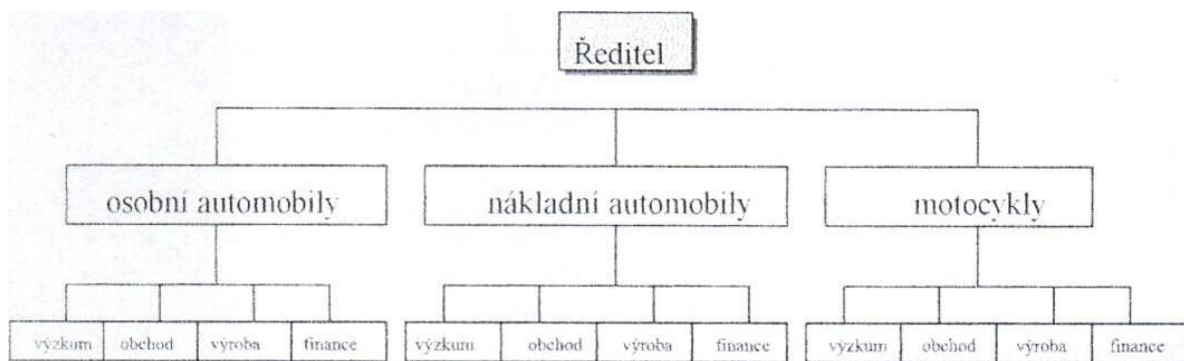
Funkční s vícenásobnou podřaděností



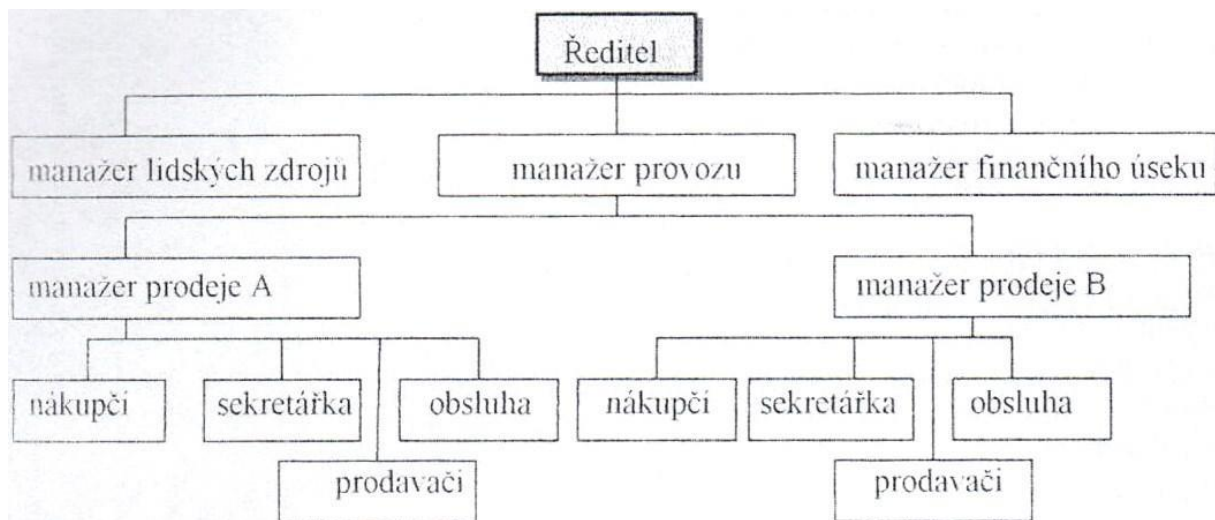
Štábní struktura



Divizionální uspořádání



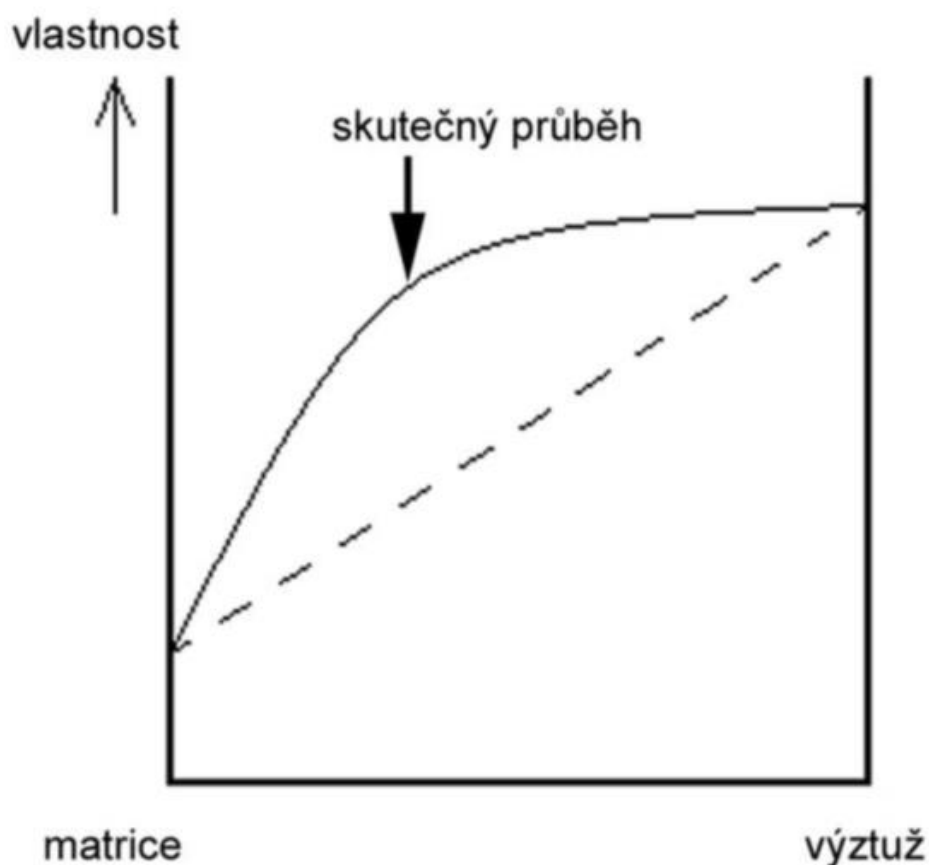
Kombinovaná struktura



2. Kompozitní materiály

Kompozit lze definovat jako materiál, který se skládá ze dvou a více složek tvořící heterogenní materiál. Tyto složky se vzájemně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Obecně se kompozitní materiál skládá ze spojitě a nespojitě fáze. Spojitá fáze se nazývá matrice a v kompozitní struktuře je jejím hlavním úkolem zastávat funkci pojiva. Nespojitá fáze se nazývá výztuž a v kompozitu má funkci vyztužující.

2.1. Synergismus



2.2. Polymerní kompozitní materiály

Vlastnosti kompozitních materiálů poukazují na perspektivu těchto materiálů nejen pro strojírenství, ale i ostatní odvětví. Základní vlastností kompozitního materiálu je malá hmotnost kompozitních součástí při zachování vysokých hodnot mechanických vlastností. Kompozity se mohou vyrovnat i ocelím z hlediska mechanických vlastností.

Výhody polymerních kompozitních materiálů

- Vysoká pružnost při deformaci
- Velká pevnost a tuhost, kterou lze přizpůsobit směru a druhu zatížení
- Vysoká možnost přizpůsobení každému tvaru
- Velká odolnost proti dynamickému namáhání při vysokém mechanickém tlumení
- Nízký součinitel délkové teplotní roztažnosti
- Odolnost proti stárnutí a korozi
- Velká možnost kombinovat různé druhy matrice a výztuže, vytvoření „výrobku na míru“
- Velké snížení hmotnosti proti ocelovým výrobkům.

(Carguideblog, 2013)

Nevýhody polymerních kompozitních materiálů

- Neexistuje standardizovaný kompozit z důvodu velkého množství možností kombinace matrice a výztuže
- Nelze přesně odhadnout chování kompozitního materiálu (nelze jednoduše sečíst vlastnosti jednotlivých složek)
- Složitě zkoušení materiálu (pokud je podmínkou nedestruktivní zkouška)
- Malá mez pevnosti v tahu ve směru kolmém vzhledem k orientaci vláken (trhliny, oslabené spojení vlákna a matrice)
- Složitá oprava a obrábění kompozitních materiálů po vyrobení

(Evaluationengineering, 2006)

2.3. Možnosti uplatnění v dopravním průmyslu

Kompozitní materiály v dnešní době nacházejí uplatnění téměř v každém odvětví průmyslu. V dopravním průmyslu se to týká všech způsobů dopravy, tedy automobilového, železničního, leteckého i lodního. Kosmický průmysl se sem řadí také, i když do dopravního průmyslu patří jenom okrajově.

Automobilový průmysl

V tomto dopravním odvětví se z kompozitních materiálů vyrábí například přístrojové desky, nápravy, části karosérií, nárazníky, kryty světlometů, hnací hřídele, sedadla, kokpity,...

V automobilovém průmyslu se kompozity využívají kvůli mechanickým vlastnostem a kvůli snižování hmotností jednotlivých součástí a tím pádem i celého automobilu

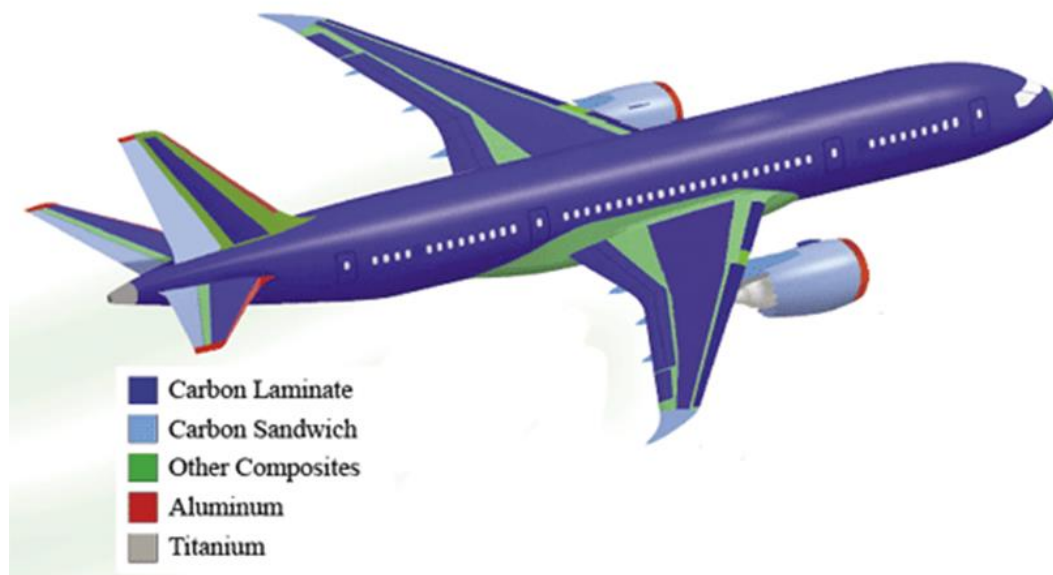
Letecký a kosmický průmysl

I v dnešní době se velké procento inovací v oblasti kompozitních materiálů používá v leteckém a kosmickém průmyslu. Je to opět z důvodu snižování hmotnosti, z čeho vyplývá snižování spotřeby paliva. Nejnovější vyvinuté kompozity se využívají ve vojenském, to znamená z největší části v letectví.

Jako příklad využití ve vojenském průmyslu je fakt, že kompozitní materiál dokáže z části pohltit radarové vlny.

V dopravním letectví se kompozitní materiály uplatňují na vrtule, křídla, radarovou techniku, trupy letadel, ale i na interiér.

Materiálové složení letadla Boeing 787 Dreamliner



Železniční doprava

Hlavním hlediskem je snižování hmotnosti (nejen samotná hmotnost, ale i snadnější manipulace) a výborné mechanické vlastnosti (vysoká tuhost a pevnost, nehořlavost,

atd.). Další velkou výhodou a zároveň vlastností je malá potřeba údržby. Použití je velmi široké jak na lokomotivy, tak i na vagony. Konkrétně je to celá hrubá stavba, přední i zadní čelo, přední, zadní panel osvětlení, obložení stropů i stěn, interiérové kompozity, palubové desky, atd.

Použití kompozitních kapot na vlakové soupravě



2.4. Formy

Výroba forem se odvíjí od několika následujících kritérií:

- velikost formy, složitost a členitost geometrie,
- přesnost a kvalita povrchu, maximální limit nákladů
- požadovaná trvanlivost: počet vyrobených kusů

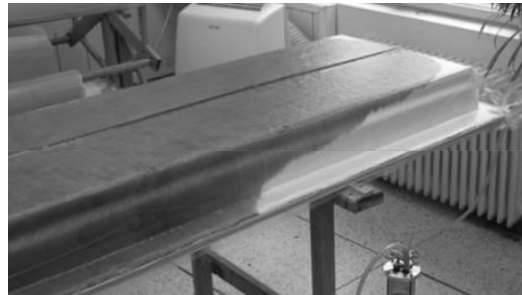
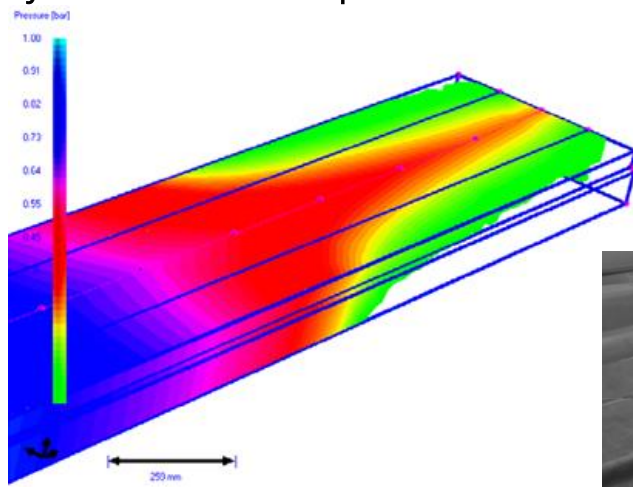
Nároky na formu zejména při ručním kladení a vakuové infuzi:

- nízká hmotnost z důvodu manipulace s formou
- rozměrová stálost při teplotách okolo 80°C ,
- mobilní provedení

2.4.1. Postup a realizace výroby formy

Zadaný budoucí výrobek se nejprve vymodeluje ve 3D a 2D softwaru. Dle požadavků se potom vytvoří model, které se následně používají pro výrobu. Následně se používá metoda konečných prvků (MKP), která se používá k optimalizaci výroby. Je verifikační metoda, kterou se ověřují mechanické vlastnosti, deformace, vnitřní napětí, stabilita, prosycování vrstvy pojiva (rychlost, čas, atd.)

Výroba silnostěnné kompozitní součásti



2.4.2. Materiály forem

- Kompozitní (laminátové)
- Kovové formy
- Ostatní materiály

Forma pro výrobu kompozitních součást



2.5. Modely

Model je nedílná součást při výrobní technologii, podle které se vyrábí jak forma, tak i hotová součást. Model má tvar negativní geometrie výsledné formy. Při navrhování je nutné počítat s rozměrovými přídávky. A to v případě, že se povrch formy bude obrábět. U modelů, podle kterých se vyrábí kompozitní formy, se povrch modelu lakuje a nanáší se separační činidlo z důvodu snadného odformování.

Model (prototyp) budoucího výrobku



Darcyho zákon pro kompozitní materiály

$$\frac{Q}{A} = - \frac{K \cdot \Delta p}{\eta \cdot L}$$

Veličina	Jednotka	Popis	Veličina	Jednotka	Popis
Q	m ³ .s ⁻¹	Objemový průtok	Δp	1	Tlakový gradient
A	m ²	Plocha průtoku	η	Pa.s	Viskozita pojivého systému
K	m ²	Permeabilita výstuže	L	m	Penetrovaná délka

Požadavky na materiály pro železniční průmysl

V současné době se kompozitní materiály stávají stále důležitějším prvkem v konstrukci. Kompozity ve velké míře pronikly do leteckého, lodního i automobilového průmyslu, ale v železničním průmyslu je míra použití kompozitů zatím nejmenší. Lze ale říct, že postupem času nacházejí a budou nacházet své uplatnění i v tomto odvětví. Hlavní překážkou pro masové rozšíření jsou počáteční vysoké náklady na návrhy, výpočty a kontroly v simulačních programech, ale také suroviny a výroba kompozitních součástí.

Materiálové požadavky

V současné době existuje 8 hlavních požadavků na materiály v železničním průmyslu:

- Hmotnost
- Mechanické vlastnosti

- Bezpečnost
- Životnost
- Údržba
- Ekologie
- Tvarové vlastnosti
- Náklady

3. Plastičárství

Výroba předmětů (výrobků) z polymerních materiálů má některé specifika, které je potřebné zohlednit při navrhování jednotlivých technologických postupů. Rozmanitost vlastností polymerů v závislosti od chemické povahy polymeru a jeho fyzikálního stavu vyžaduje poměrně velkou variabilitu i ve výrobních postupech, v podmínkách zpracování polymerů.

3.1. Polymery

Polymery je možné rozdělit z pohledu způsobu jejich zpracování do tří základních skupin:

- Termoplasty
- Elastomery (kaučuky)
- Reaktoplasty (předtím nazývané i termosety)

Termoplasty

Termoplasty se za běžných teplot chovají jako tuhé tělesa, ale při zvýšených teplotách procházejí do formy vysoko viskózní kapaliny (ve veščině případů pseudo plastické), kterou je možné tvarovat a opětovným ochlazením fixovat její tvar. Tento proces je opakovatelný, to znamená, že polymer možno opětovným zahřátím uvést do taveniny a znovu tvarovat.

Elastomery

Elastomery vykazují za běžných teplot vysokou složku elastické deformace, ale jsou schopné téct při vysokých smykových napětích. Po vytvoření příčných vazeb mezi makromolekulami dochází k potlačení plastického toku materiálu, polymer se stává vysoko elastický, značně odolný vůči plastické deformaci. Vzniká materiál, všeobecně označovaný jako guma.

Reaktoplasty

Reaktoplasty se chovají jako termoplasty, mají velmi malou anebo takřka žádnou složku elastické deformace, obvykle se lehce tvarují už za běžných teplot, případně při mírně zvýšených teplotách, přičemž dochází po dobu tvarování i k chemické změně struktury. K stabilizaci tvaru výrobku dochází chemickou síťovací reakcí, která může být vyvolaná smíšením dvou mezi sebou reagujících složek, anebo jen vplyvem zvýšené teploty. Po proběhnutí chemické reakce se získává tuhý materiál, který nevykazuje prakticky žádnou elastickou deformaci a není možné uvést ho opětovně do plastického stavu.

3.2. Vytlačování

Vytlačování směsí je proces adiabatický – v tomto procesu dochází k přeměně mechanické energie na teplo. V praxi hovoříme o sub adiabatickém (polytropním) a super adiabatickém procesu vytlačování kaučukové směsi. Při sub adiabatickém procesu se část tepla privádí z vnějšího zdroje na to, aby se směs zahřála na požadovanou teplotu potřebnou na dobré zpracování kaučukové směsi a část tepla se vytvoří přeměnou mechanické energie.

Vytlačovací stroje se rozdělují hlavně podle druhu zpracovávaného materiálu a rozdílné konstrukce vytlačovacích jednotek. Když poznáme charakteristiku materiálu a jeho vlastnosti můžeme vybrat vytlačovací stroj s vyhovujícím vytvářením tlaku na vytlačovaný materiál [Jahelka, 1969].

Podle způsobu vytvoření tlaku na směs rozdělujeme vytlačovací stroje na:

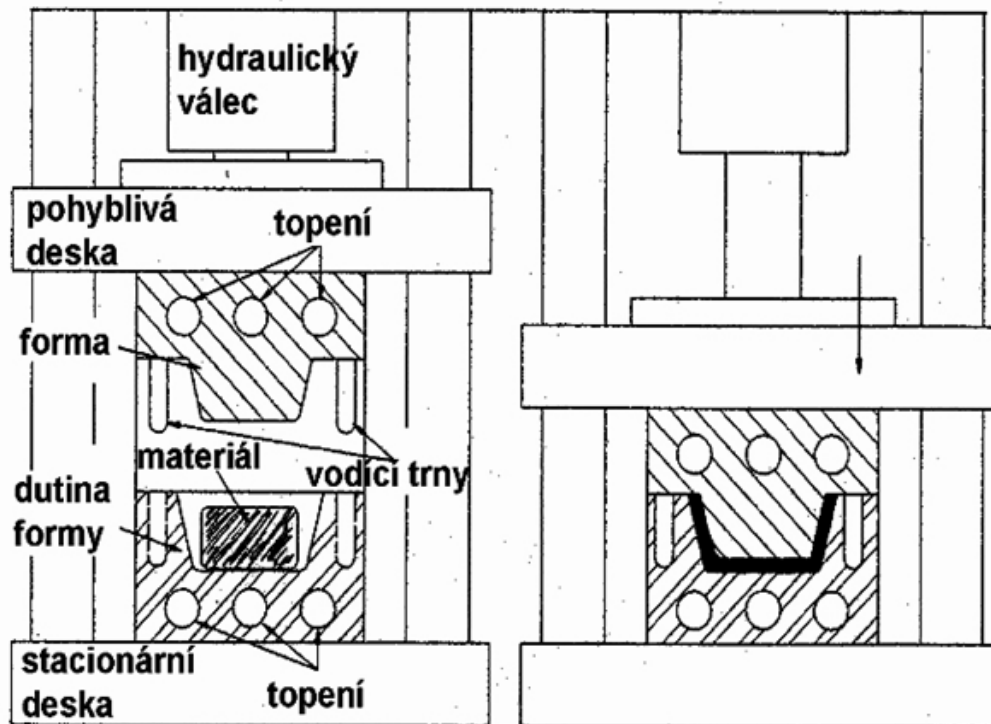
- Diskové
- Pístové
- Válcové
- Závitkové: jednozávitkové
- Dvoj - a více závitkové

3.3. Lisování a přetlačování

Lisování patří mezi nejjednodušší a ekonomicky nejméně náročné technologie zpracování polymerních materiálů. Princip lisování spočívá ve formování roztaveného polymeru v dutině lisovací formy s následným fixováním tvaru výrobku. Tvarová fixace závisí od toho, jaký typ polymeru se zpracovává. Termoplasty se před vybráním z formy musí ochladit, v případě reaktoplastů a gumařských směsí musí proběhnout chemická reakce – síťování, vulkanizace.

Horizontální vstřikovací lis

Přetlačování je svým technologickým uspořádáním a charakteristikami procesu velmi blízké lisování. Rozdíl mezi lisováním a přetlačováním spočívá v konstrukci formy a z toho vyplývajícího rozdílného dávkování směsi do dutiny formy. Materiál je dávkovaný do pomocné tlakové komory, která je oddělená od dutiny formy. Zatvořením lisu se vyvíjí pístem tlak na směs, která je následně přetlačena přes dýzy do dutiny formy. Tlak potřebný na vyplnění dutiny formy je nižší, což umožňuje používat i vertikální otvíratelné formy a tím i výrobu tvarově složitějších výrobků.



3.4. Vstřikování

Princip vstřikování termoplastů spočívá tedy v jejich plastifikaci, t.j. uvedení polymeru do stavu viskózní kapaliny (taveniny) a její následného vstříknutí do chlazené uzavřené dutiny formy. Tam se materiál pod tlakem ochladí a nechá ztuhnout. Princip tvarování hmoty je totožný s lisováním jen s tím rozdílem, že tavení polymeru neprobíhá přímo ve formě a rychlost toku polymeru při zatékání do dutiny formy je podstatně vyšší jako při lisování, anebo přetlačení.

Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je zařízení, které umožňuje roztavení plastické hmoty, její homogenizaci, dále vstříknutí taveniny pod tlakem do uzavřené formy. Uzavření formy musí být zabezpečené proti otevření silou, která je větší, jako síla vyvolaná tlakem v dutině formy.

Základní části vstřikovacích strojů jsou:

- **vstřikovací jednotka** – tvoří jí násypka, dávkovací zařízení, plastifikační a vstřikovací komora s pístem anebo závitkou, tryska, ohřev a regulace.
- **uzavírací jednotka** - tvoří jí: uzavírací mechanismus /kloub anebo píst/, přidržovací mechanismus
- **forma** – udává výrobku tvar.

- **příslušenství vstřikovacího stroje:** tvoří ho zdroj energie, temperační zařízení forem a regulační a ovládací prvky.

Horizontální vstřikovací lisy

Nejčastější konstrukce vstřikovacích lisů je horizontální konstrukce s jednou vstřikovací komorou, tzn. že os vstřikovací jednotky je v horizontální poloze kolmo na dělicí rovinu formy.



Vertikální vstřikovací lisy

Pro speciální aplikace se v mnohých případech používají vertikální vstřikovací lisy. Upínací desky mají horizontální plochy pro upnutí forem. Horní deska je pohyblivá ve vertikálním směru, spodní deska je pohyblivá v horizontálním směru. Pohyb spodní desky je umožněný buď rotaci kulatého otočného stolu anebo přesuvným pohybem posuvného stolu. V obou případech má potom forma jednu polovinu formy na horním stole a dvě identické spodní polovice na spodním stole.

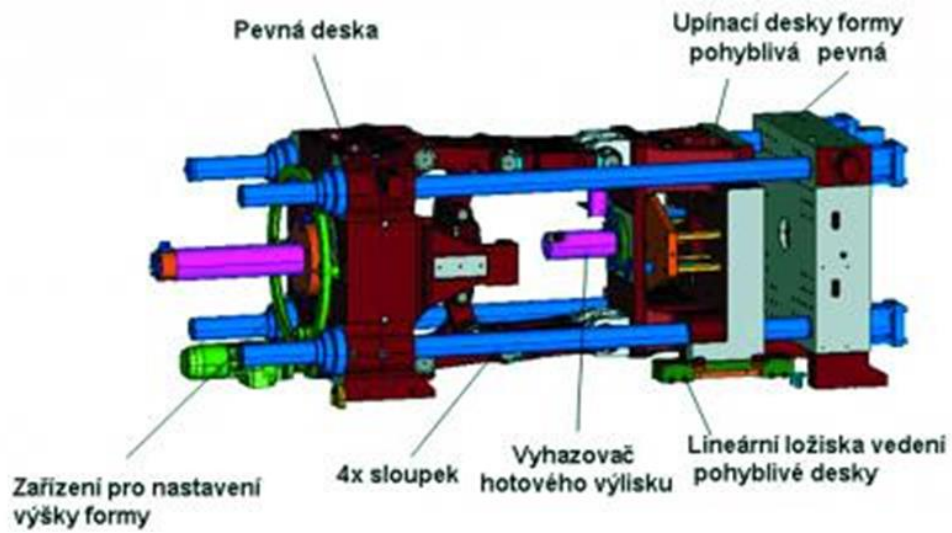


Vertikální vstřikovací lis s otočným stolem a vertikální vstřikovací jednotkou



Vertikální vstřikovací lis s otočným stolem a vertikální vstřikovací jednotkou

3.5. Hydraulické stroje

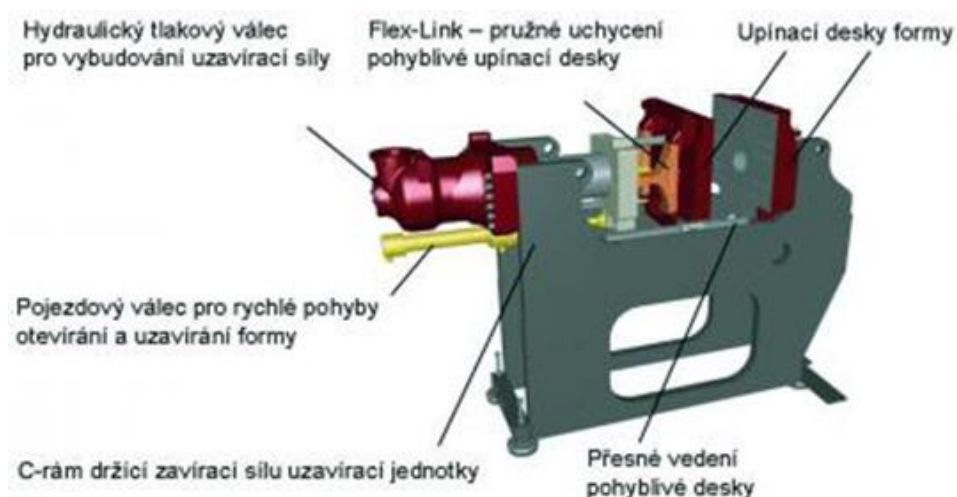


Dvou deskový stroj s jednou pevnou a jednou pohyblivou deskou



Častá je i konstrukce i „bez sloupových“ strojů. Uzavírací sílu přenáší namísto sloupů tzv. C rám. Mírná elasticita C rámu je kompenzována flexibilním uchycením pohyblivé desky nazývaným flexlink. Tato patentová konstrukce umožňuje přesné uzavírání formy bez nebezpečnosti vzniku smykových sil. Pro upínání formy je potom k dispozici mnohem větší prostor než u sloupových strojů.

Bez sloupový stroj



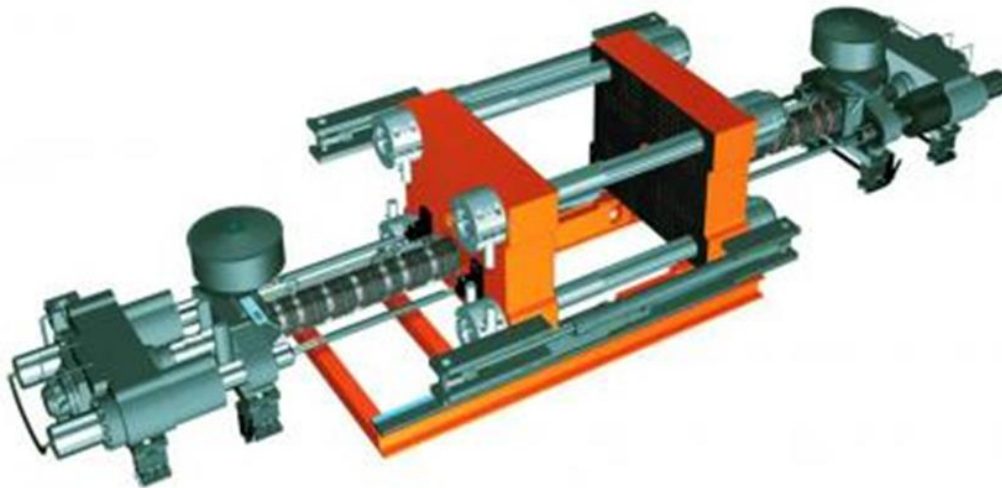
Elektrické vstřikovací lisy

pohyby stroje jsou vyvozované elektrickými servomotory řízenými frekvenčními měniči. Cena většího počtu hnacích motorů a jejichž řízení je kompenzovaná přesnější výrobou a lepší reprodukovatelností v porovnání s hydraulickými stroji. Čas cyklu stroje je kratší, také je zajímavá úspora elektrické energie vyplývající z vyšší účinnosti pohonů v porovnání s hydraulikou. Také odpadá nutnost chlazení hydraulického motoru.

Hybridní stroje

Hybridní stroje s elektricky poháněnými vstřiky se momentálně nejvíc uplatňují ve více komponentním vstřikování, kde je přesnost vstřiku nejdůležitějším parametrem pro úspěšné zajištění kvality výroby výlisků z více materiálů.

Dvou vstřikový stroj



Automatizace vstřikovacích lisů

Použití robotů a manipulátorů značně urychluje a zkvalitňuje výrobu vstřikovaných dílů. Zejména u větších strojů s uzavíracími silami nad 1 500 kN je dnes použití robotů takřka u všech strojů běžné. Používají se nejvíc lineární manipulátory.

Lineární manipulátor s dopravníkem výlisků



3.6. Válcování

Válcování je technologie, při které dochází k formování hmoty polymeru do tvaru fólií a pásů v štěrbině mezi dvěma, proti sobě se otáčejícími válci. Válcování, anebo také kalandrování (z anglického calendering) je základem několika technologických operací aplikovaných zejména při výrobě gumařských produktů:

- výroba samotných gumových pásů, které se dále používají při konfekci hotových výrobků (např. pláště pneumatik, gumová obuv, dopravní pásy, atd..)
- impregnaci a pogumování textilu, frikční nanášení

3.7. Vyfukování

Technologie vyfukování se používá na výrobu dutých výrobků, zejména lahví a jiných uzavíratelných nádob. Tato technologie je vhodná na výrobu dutých předmětů, kde se nepožaduje příliš vysoká přesnost v tloušťce stěny. Typickým příkladem jsou PET lahve na nápoje, PET lahve a nádoby na saponáty, domácí chemii, agrochemikálie atd. Touto metodou se dnes vyrábí asi 90% dutých tělese z plastů (lahve, kanystry, nádrže a jiné), přičemž největší nádoby mají objem 10 000 litrů a hmotnost až 180 kg.

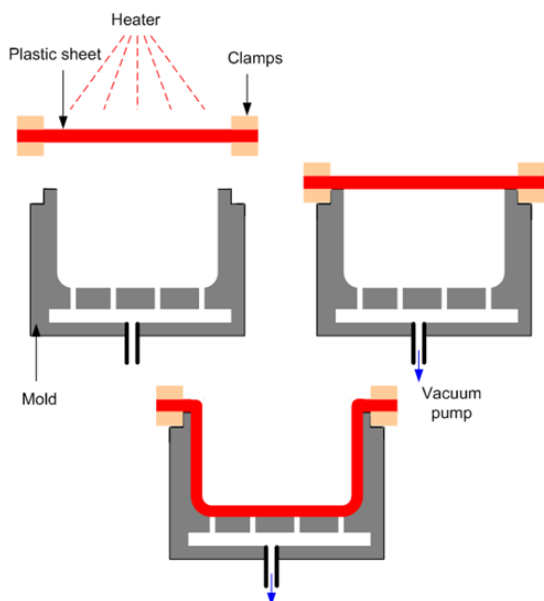


3.8. Tvarování

Tvarování probíhá v chladné formě. Musí přeběhnout v co nejkratší době, aby teplota plastu byla po dobu fázi tvarování konstantní. Proto se volí nejvyšší rychlost tvarování, kterou daný plast dovolí.

Po vytvarování se výrobek nesmí vybrat z formy dřív, pokud jeho teplota neklesne pod dolní mezi teploty skleného přechodu. Tím se dosáhne toho, že se neprojeví tvarová paměť. Běžně se zpracovávají desky a materiály o tloušťce od 0,4 mm do 10 mm a mají rozměry 100 x 100 mm anebo 800 x 1500 mm a to z materiálů hPS, ABS, PMMA, PVC, PC.

Princip vakuového tvarování



3.9. Odlévání, namáčení, žárové a fluidní nanášení

Odlévání je technologie, kterou je možné zpracovávat termoplasty i reaktoplasty. Podle toho, jaké síly působí na polymer po dobu jeho tvarování ve formě, rozeznáváme odlévání gravitační, odstředivé a rotační.

Princip rotačního odlévání



Namáčení

Namáčením se zpracovávají polymery v tekuté formě roztoků, pást a disperzi. Nejčastější zpracovávanými polymerními materiály jsou pasty PVC ale i například latexy kaučuků. V případě PVC pást dochází k fixaci tvaru výrobku želatinací, v případě aplikace roztoků anebo latexů odpařením rozpouštědel. Pokud se namáčením vyrábějí výrobky z latexu

kaučuku, zpravidla je potřebná po vysušení latexu následná vulkanizace.

Princip namáčení latexových rukavic



Žárovým nanášením

Se můžou zpracovávat polymery, které mají teplotu rozkladu dostatečně vyšší jako teplotu tavení resp. meknutí. Princip žárového nanášení spočívá v roztavení polymeru v speciální pistoli a následným stříkáním taveniny polymeru na povrch zvoleného materiálu. Konstrukce pistole pro žárové stříkání je odvozena od pistole pro žárové nanášení kovů. Střední rourkou pistole se přivádí práškový polymer a vnějším mezikružím proudí hořící směs acetylén - kyslík.

Fluidní nanášení

Se používá jako technologie nanášení polymerního povlaku na povrch předmětů za účelem jejich povrchové úpravy. Poskytuje rovnoměrnější a kvalitnější povlak jako žárové stříkání. Princip fluidního nanášení spočívá v tom, že vyhřátý předmět se ponoří do fluidní vrstvy práškového polymeru. Částice polymeru se na povrchu dostatečně vyhřátého předmětu taví a zlévají do kompaktní vrstvy.

4. Polotovary a předvýrobky

Svým principem se liší jednotlivé metody strojařské metalurgie a často se člení na:

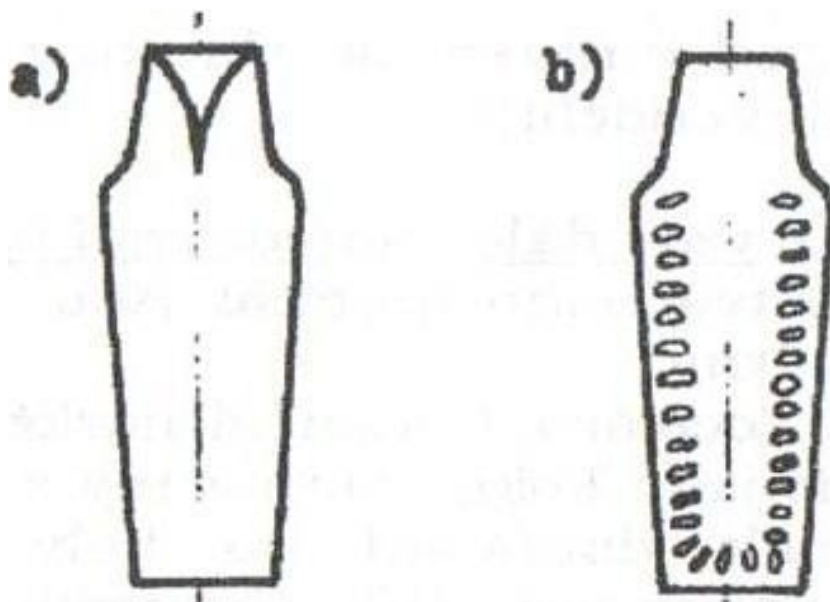
- slevárenství
- tvárnění
- svařování, pájení, tepelné dělení, lepení apod.
- tepelné spravování

4.1. Slevárenství

Ze širšího metalurgického pohledu rozlišujeme:

- slevárenství hutnických odlitků
- slevárenství tvarových odlitků

Slevárenství hutnických odlitků



a) uklidněna ocel,

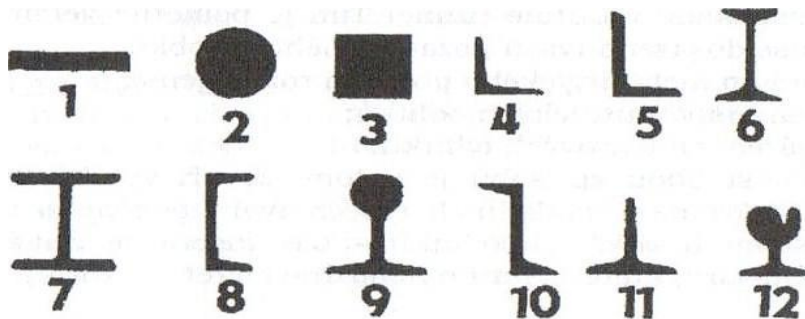
b) neuklidněna ocel

Schéma ingotu

Vývalky válcované z ocele je možné dělit na (Nová, I. a kol., 2006):

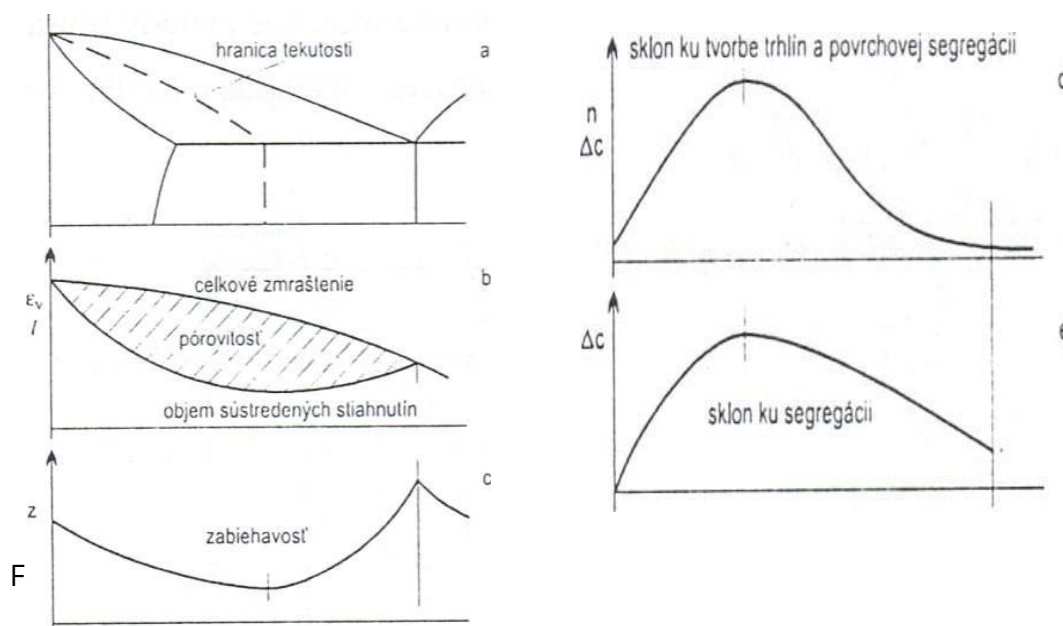
- profily jednoduchých geometrických tvarů
 - kruhové, čtvercové, obdélníkové, I-profily, U-profily, atd.;
- plechy tloušťky 0,15-4 mm – hloubky 3000 mm, tloušťky 4-60 mm – hloubky 3500 mm; tloušťky 60 – 250 mm – hloubky 4500 mm;
- trubky – kruhového, obdélníkového, oválného průřezu;
- válcování profilu získané zvláštním způsobem válcování.

Schéma hutnických válcovaných polotovarů



1-pásová ocel, 2-kruhová ocel, 3-čtvercová ocel, 4-rovnoramenný úhelník, 5-uhelník rovnoramenný, 6,7-I profil, 8-U profil, 9-kolejnice, 10-Z profil, 11-T-profil, 12-tramvajová kolejnice

Závislost technologických vlastností slitiny na složení



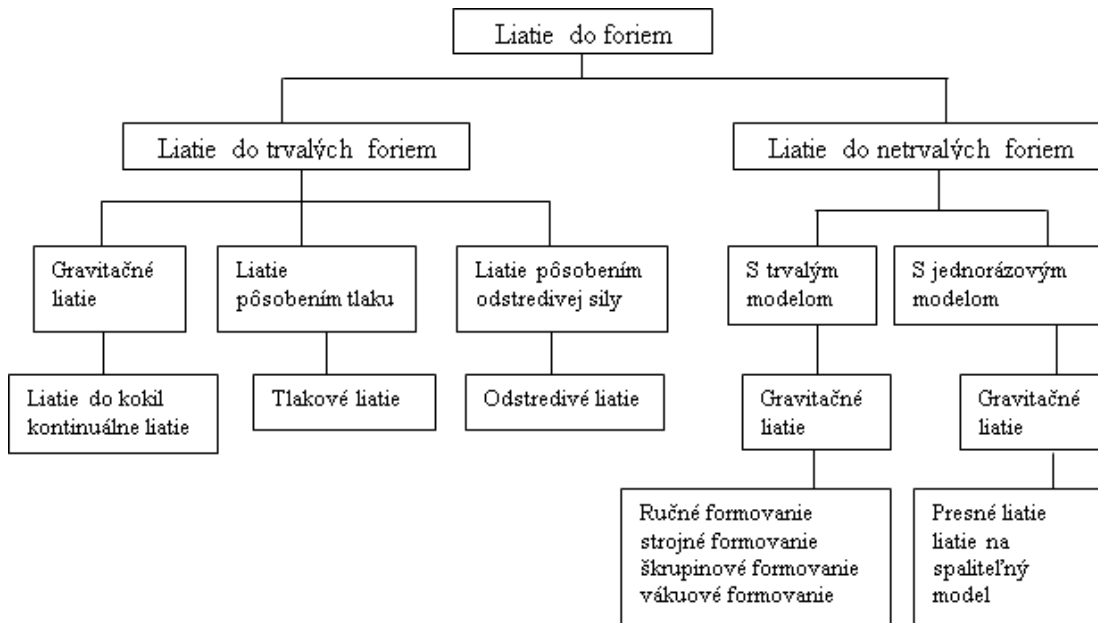
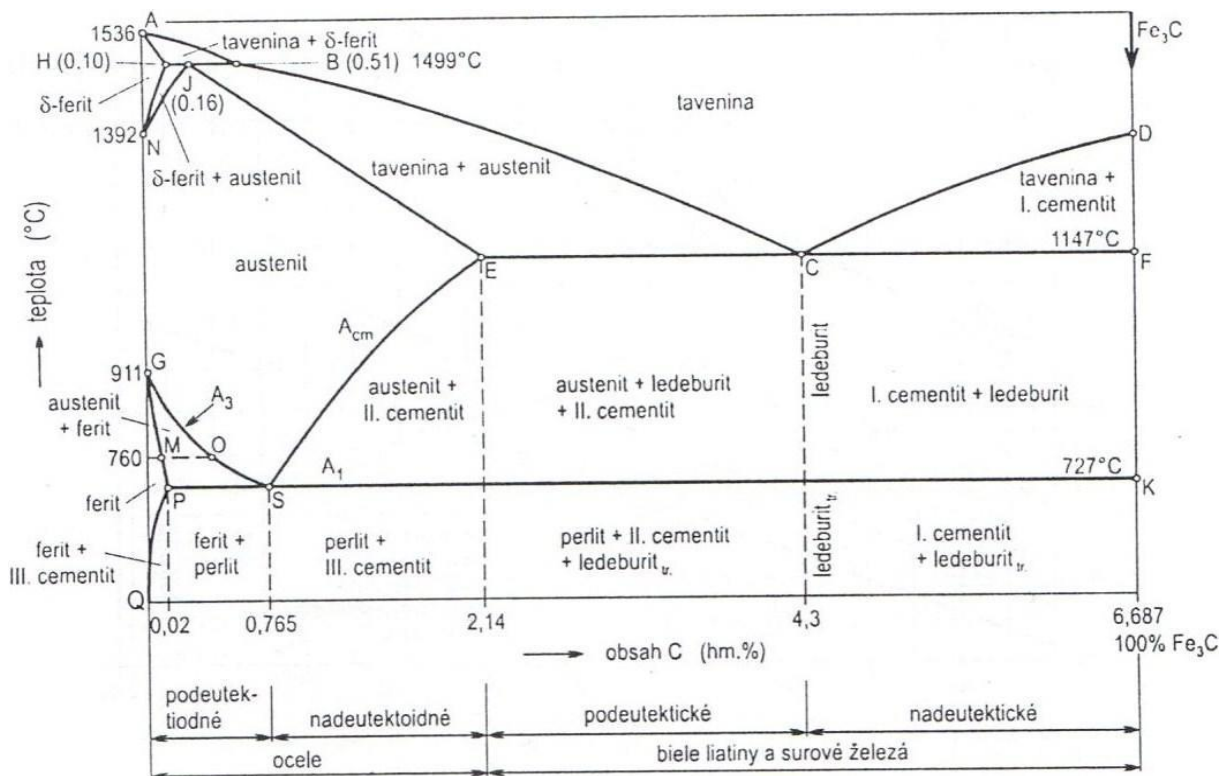


Diagram slitiny železo – uhlík



4.2. Použití oceli na odlitky

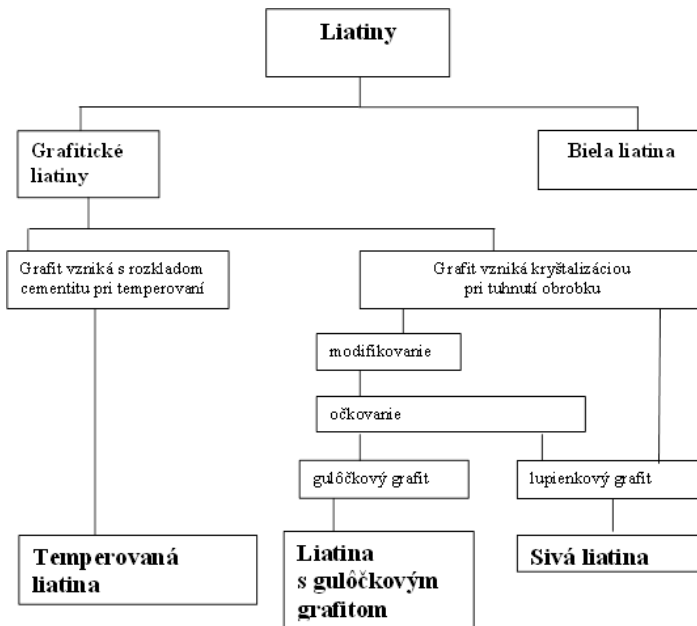
Podle chemického složení rozdělujeme ocel na odlitky do těchto základních skupin:

- **legované oceli** – obsahují legovací prvky (jeden anebo víc legujících prvků).
 - Podle obsahu legujících prvků jich dělíme na:
 - nízkolegované (obsah legujících prvků pod 5%)
 - středně legované (obsah legujících prvků 5% - 10%)
 - vysokolegované (obsah legujících prvků nad 10%)
- **nelegované – uhlíkové oceli** – obsahují malé množství (0,06 – 0,5%) průvodních prvků (S+P, P, S, Mn, Si). Tyto ocele můžeme orientačně dělit do tří skupin:
 - nízkouhlíkové (obsah uhlíku pod 0,25%),
 - středně uhlíkové (obsah uhlíku 0,25% - 0,6%),
 - vysoko uhlíkové (obsah uhlíku nad 0,6%).

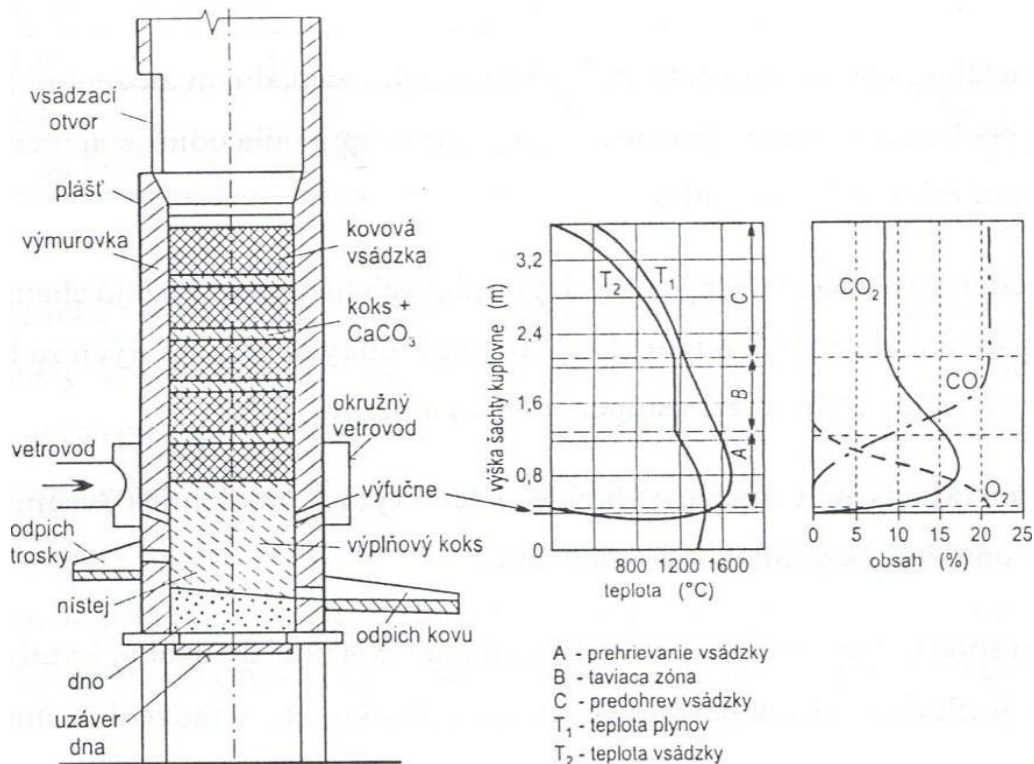
Oceli na odlitky označujeme podle normy ČSN takto: 42 XX YY. Z1Z2.

- První dvojčíslí
 - 42 – třída norem pro hutnictví
- Druhé dvojčíslí
 - XX – druh materiálu na odlitky, příp. způsob lití
- Třetí dvojčíslí – XX
 - 00 – 29 popisuje, že jde o odlitky odlévané jiným způsobem jako do pískových forem,
 - 30 – 99 udává nejnižší hodnotu pevnosti v tahu v násobku 10 MPa (např.. 42 2636 – pevnost v tahu 360 – 460 MPa).
 - U vysokolegovaných ocelí na odlitky (42 29 YY) udává třetí dvojčíslí použitou skupinu legujících prvků.
- Čtvrté dvojčíslí - Y1Y2 (doplňkové číslice)
 - Y1 – označuje konečný stav materiálu na odlitky závislý od jeho tepelného zpracování,
 - Y2 – označuje způsob odlévání odlitků se slitin železa.
 - U legovaných ocelí má odlitky čtvrté dvojčíslí stejný význam jako u ocelí uhlíkových

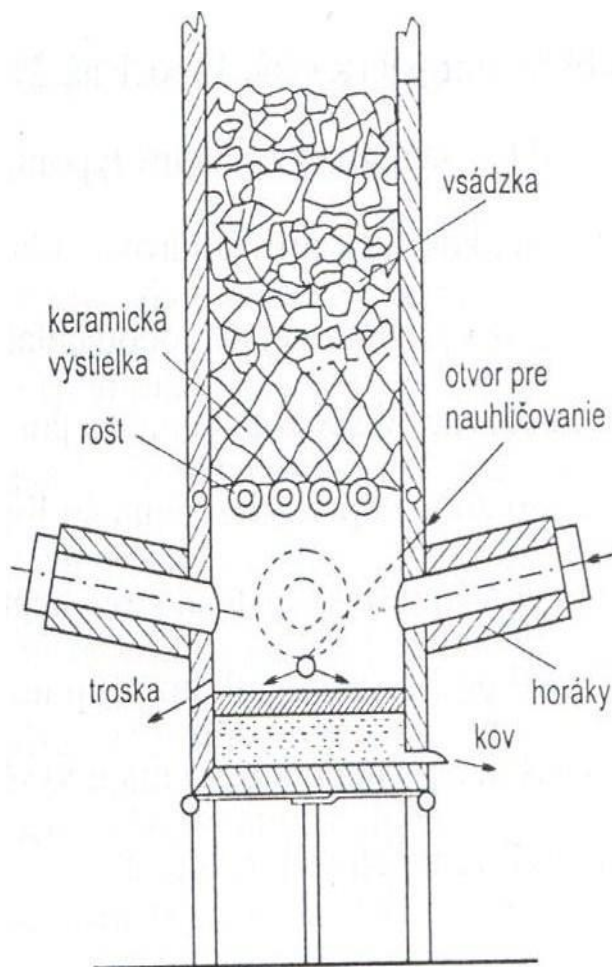
4.3. Litiny



4.4. Uspořádání kuplové pece s průběhem teplot a složení spalin



Bez koksová kuplová pec



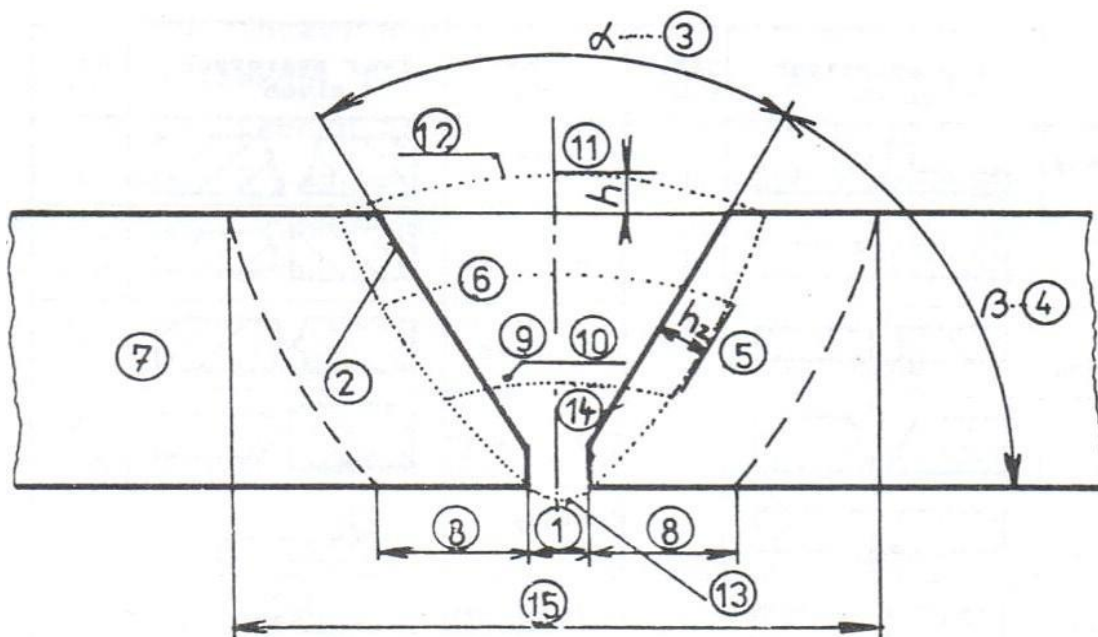
Slévárenské formovací materiály

Slévárenské formovací materiály jsou suroviny (písky - ostřiva, pojiva a pomocné látky), z kterých se vyrábějí formovací směsi. Tyto slouží na zhotovení polotrválých a netrválých jader a forem.

Ostřivo a pojivo

- Ostřivo formovacích směsí (písek) je žáruvzdorný materiál tvořící 86 – 96% hmotnostního a objemového zastoupení ve formovací směsi
- Pojivo spojuje ostřivo a formovací směsi dává potřebnou tvárnost a pevnost.

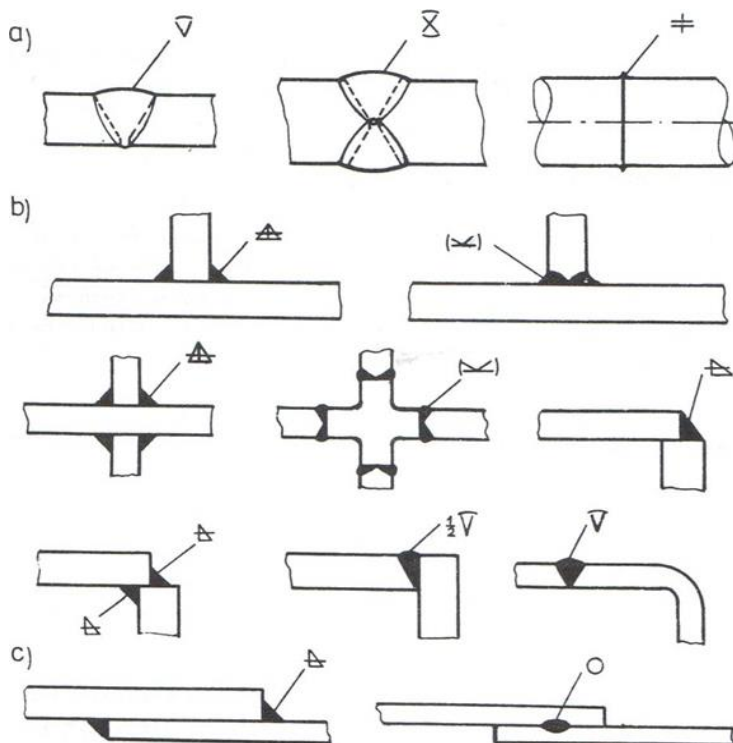
4.5. Svařování



Základní způsoby svařování

Tavné svařování	Svařování tlakem
Svařování plamenem	
Svařování elektrickým obloukem: -obalenou elektrodou -v ochranné atmosféře s odtavující se elektrodou, drát anebo plněná trubička (MIG, MAG) -v ochranné atmosféře s neodstavující se elektrodou (WIG, TIG) -automatické s různými typama elektrod (uhlíková) -pod tavidlem -Svařování s rotujícím obloukem	Svařování elektrickým odporem: -bodové -švové -výstupkové -stykové – pýchováním - odtavením
Svařování termitem (aluminotermie)	Svařování třením
Svařování elektrostruskové	Svařování indukční
Svařování laserem	Svařování ultrazvukem
Svařování plazmou	Svařování tlakem za studena
Svařování slévárenské	Svařování výbuchem

Druhy svarových spojů



Názvy a tvary svarových ploch

Název svaru	Tvar svarových ploch	Zákl. znak	Název svaru	Tvar svarových ploch	Zákl. znak
Lemový svar			U - svar		
I - svar			U - svar		
I - svar na podložce			UU - svar		
V - svar			UU - svar		
V - svar na podložce			Koutový svar		
$\frac{1}{2}$ V - svar			Koutový svar oboustranný		
X - svar			Rehový svar		
X - svar nesymetrický			Svar děrový a šlábkový		
K - svar			Svar děrový a šlábkový skosený		

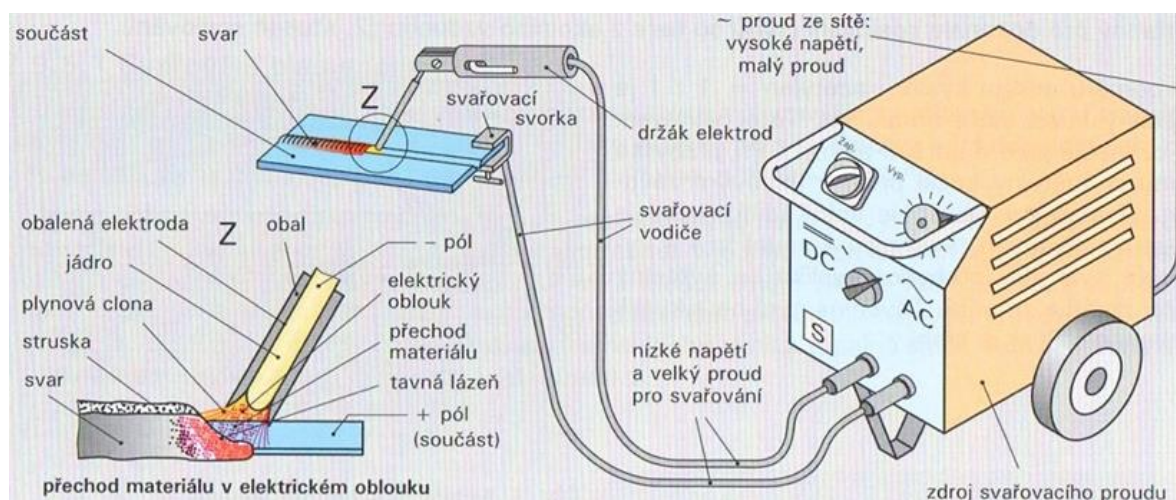
4.6. Svařování elektrickým obloukem

Elektrický oblouk má několik charakteristických oblastí (Blaščík, F. a kol., 1988):

- na povrchu elektrody, která má mínusový pól (katoda), tvoří se katodová skvrna, přes kterou prochází proud. V blízkosti katody se vytváří v plynném sloupci katodová oblast,
- na povrchu elektrody s kladným pólem (anoda) vzniká anodová skvrna a na ní navazuje anodová oblast,
- střední část sloupce je pozitivny sloupec, který tvoří skoro celou délku elektrického oblouka.

Schéma ručního svařování elektrickým obloukem

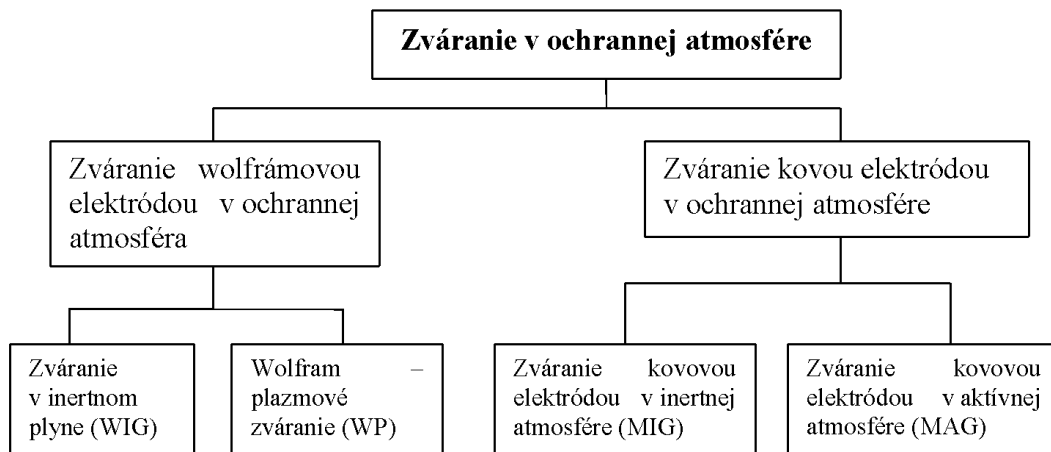
(Fischer, U. a kol., 2004)



Svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách

Při svařování v ochranných atmosférách rozlišujeme svařování s natavující se wolframovou elektrodou WIG a svařování s odtavující se kovovou elektrodou (MAG, MIG). Předností je jednoduchá automatizace svařovacího procesu a vhodnost využití pro robotizované pracoviště.

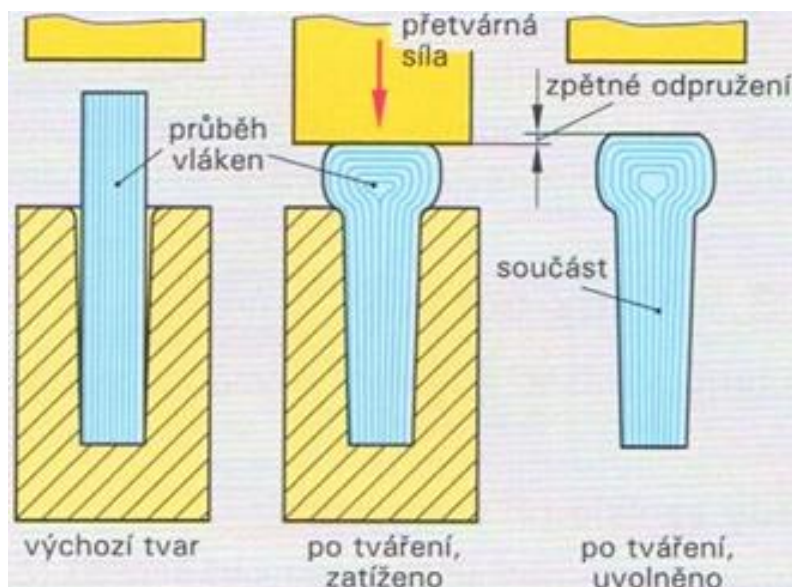
Rozdělení svárování v ochranné atmosféře



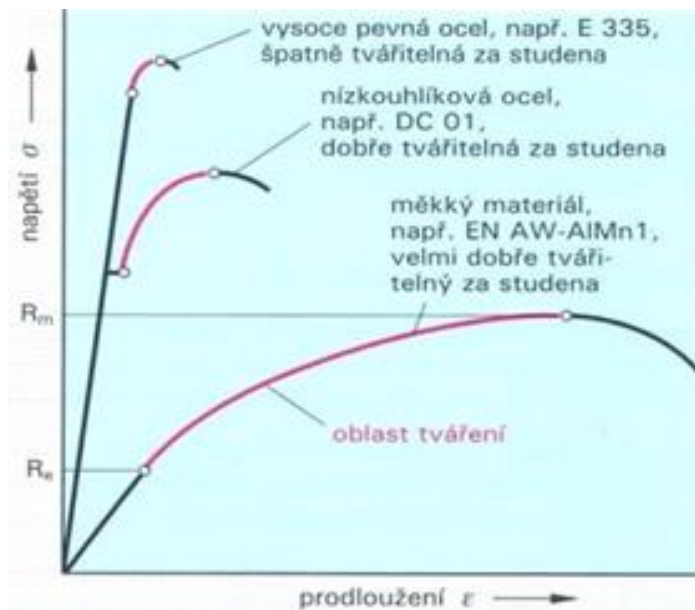
4.7. Tvárnění

Tvárnění je část strojírenské technologie, kde měníme vlastnosti, rozměry a tvar působením vnějších sil. Změna tvaru nastává přemístěním částic kovu na základě plasticity. Je to nejdůležitější vlastnost kovů popří pevnosti a pružnosti. Jedná se o trvalou změnu tvaru a rozměru tvárněného materiálu (součástky). Toto je vyvolané účinkem vnějších sil tvárnícího stroje a nástroje.

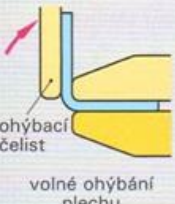
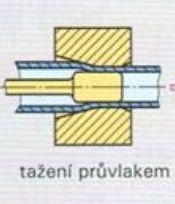
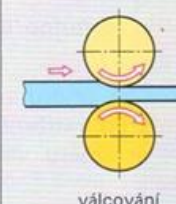


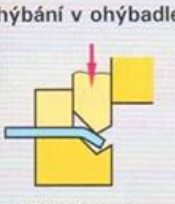
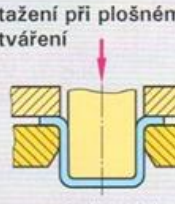
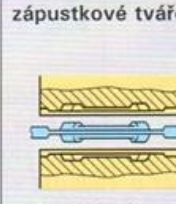
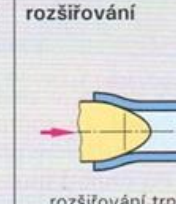





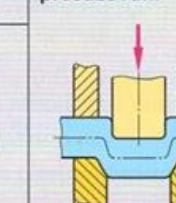
Součástka byla přetvořená, získala jiný tvar.



Plastická deformace při tvárnění



Postupy tvárnění, (Fischer, U. a kol, 2004)

tváření ohybem	tváření tahem a tlakem	tváření tlakem	tváření tahem	tváření smykem
volné ohýbání  ohýbací čelist volné ohýbání plechu	protahování  tažení průvlakem	válcování  válcování	prodlužování  natahování	kroucení 
ohýbání v ohýbadle  ohýbání plechu v ohýbadle	tažení při plošném tváření  tažení dutých těles	zápustkové tváření  kování v zápustce	rozšiřování  rozšiřování trnem	zkrcování 
zakružování  ohýbání závěsů	rotační tváření (kroužení)  tváření dutých těles	vytlačování  orýsování	přetahování  přetahování	přesazování  vyrábění excentru

Zákony tvárnění

- Zákon stálosti (konstantnosti)
- zákon zbytkových a doplňkových napětí
- zákon nejmenšího odporu
- zákon stálosti (konstantnosti) potenciální energie změny tvaru
- zákon podobnosti
- zákon neodlučitelnosti elastických napětí (deformací)
- zákon zpevnění
- zákon tření

Technologické postupy tvárnění za tepla

- Kování - volné a zápustkové
- Válcování - k hromadné výrobě předmětů jednoduchého tvaru
- Vytlačování - pro výrobu různých profilů, tyčí, trubek

Technologické postupy tvárnění za studena

- Válcování
- Tahání
- Lisování – stříhání, ohýbání, rozšiřování, zakrucování, tahaní nádob, objemové tvárnění – přetlačování

Druhy používaných polotovarů

- vývalky
- ingoty
- plechy

5. Povrchové úpravy

Povrchová úprava obrobků sloužila předtím převážně na dekorativní účely. Dávala výrobkům pěkný vzhled, který se vytvářel barvou, hladkostí, leskem apod., tak se zvyšovala prodejnost výrobku. Dnes je tento požadavek veščinou druhořadý, protože povrchové úpravy jsou zaměřené veščinou na funkční účely (např. odolnost vůči korozi, odolnost proti opotřebení). Do povrchových úprav patří všechny fyzikální, chemické, elektrochemické a mechanické postupy, kterými nadobude povrch žádané vlastnosti bez použití řezného nástroje

Schéma postupu při volbě protikorozní ochrany

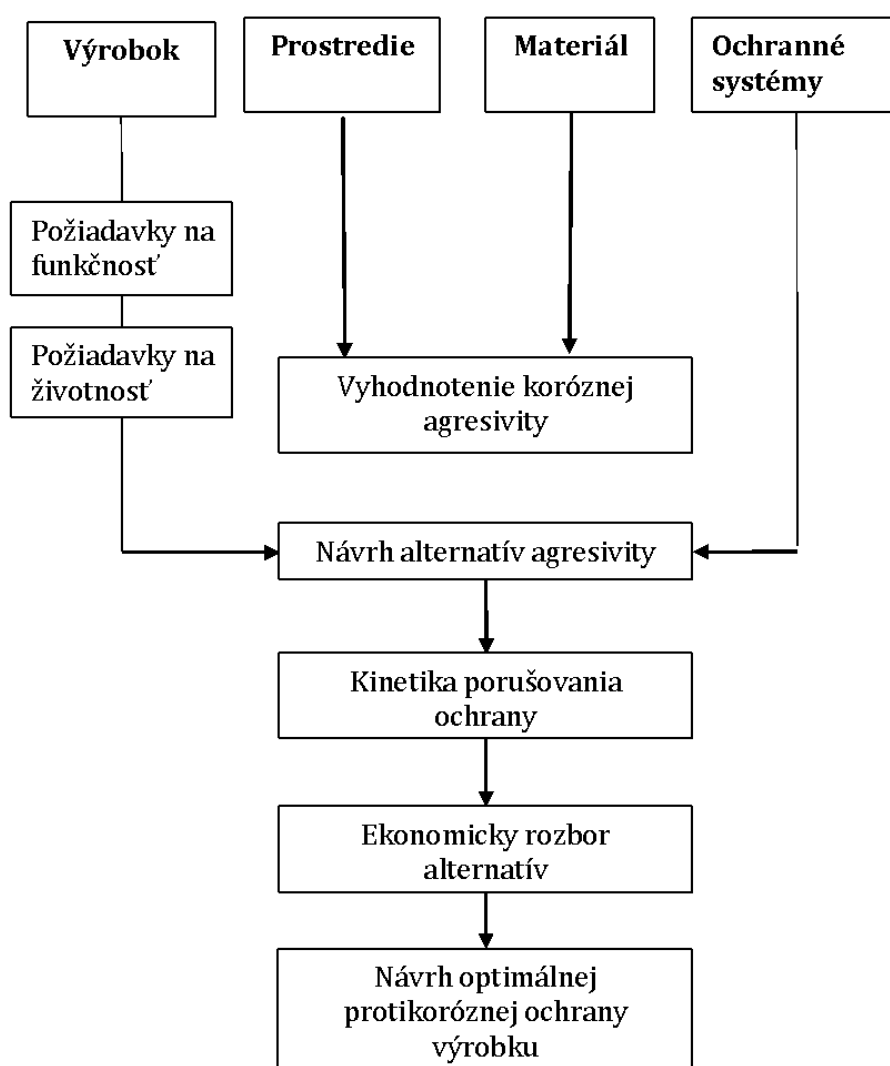
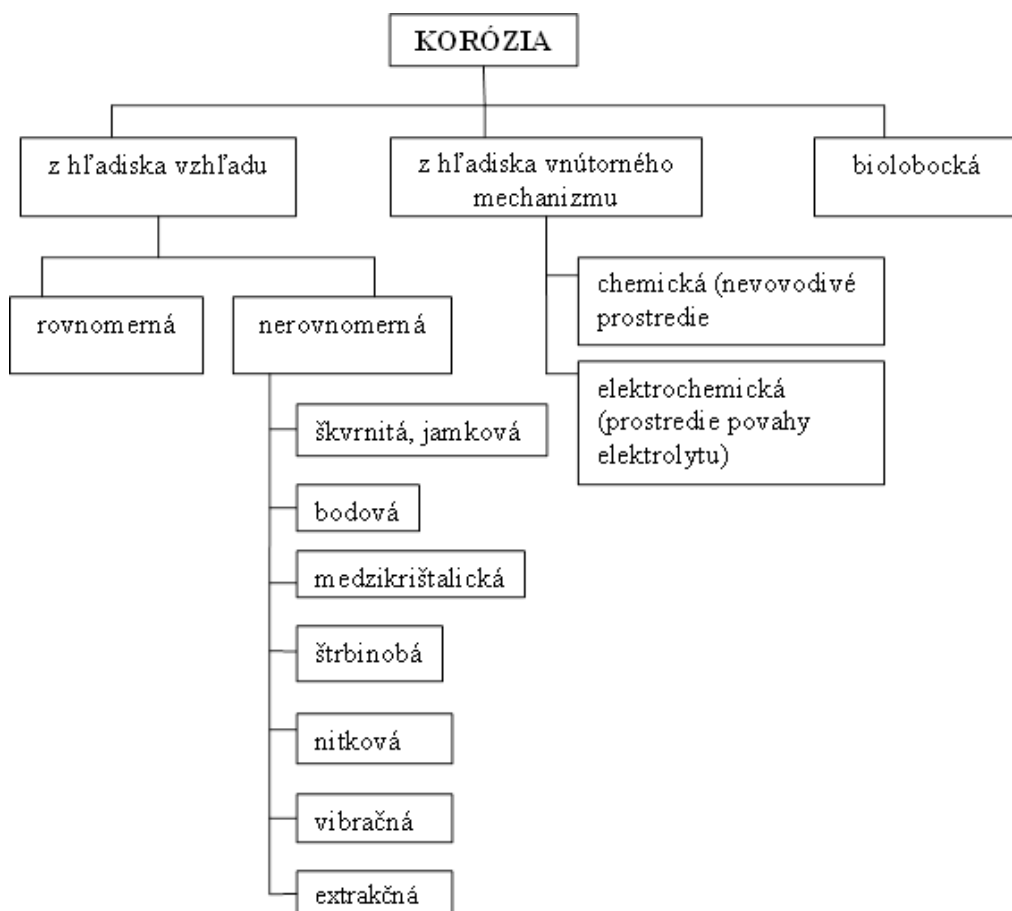


Schéma získávání korozních údajů

Znehodnocování kovových materiálů chemickým anebo fyzikálně-chemickým účinkem okolitého prostředí, tj. koroze kovů, je stále závažnějším národohospodářským problémem na celém světě. Přírodní korozní prostředí je znečišťované průmyslovou činností a tím stoupa jeho agresivita.

V chemickém průmyslu, energetice, elektrotechnice, strojírenství a dalších průmyslných odvětvích se zvyšují nároky na odolnost kovů proti korozi.

Schéma dělení korozního napadnutí

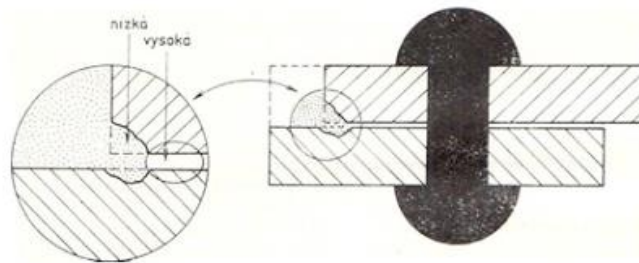




Rovnomerná korózia

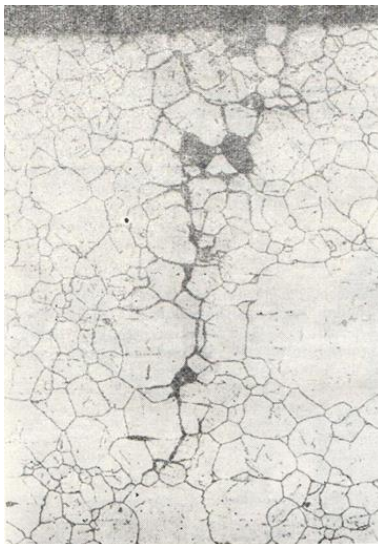


Bodová korózia



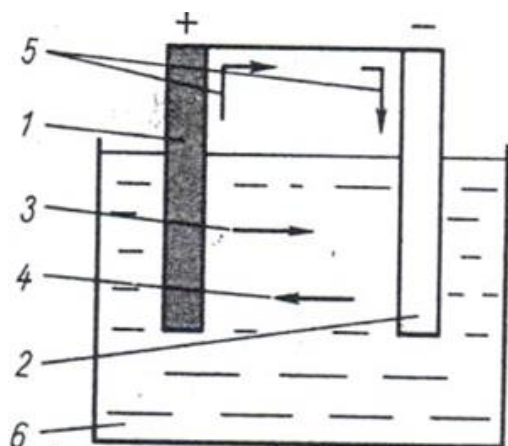
Koncentračný článok s rôznou koncentráciou iónov kovu

Mezikrystalová koroze



5.1. Druhy koroze z hlediska vnitřního mechanismu

- chemická koroze
- elektrochemická koroze



Biologická koroze

Kovový technický materiál může být rozrušovaný i živým organismem. Například brouk z rodu Dermestes požírá Zn, Ag, Au a nejvíc měkké Pb. Byl pozorován brouk, který za 4 hodiny přehryzl v Pb plechu $t=0,2$ mm a otvor průměru 3mm. Na rozrušování kovu se podílejí také bakterie, které svou přítomností podmiňují vznik chemických sloučenin zvyšujících agresivitu korozivního prostředí.

5.2. Antikorozní ochrana kovových technických materiálů

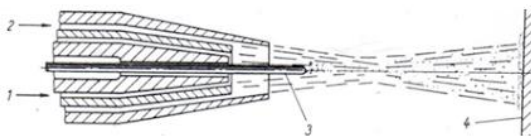
Antikorozní ochrana je vykonávána:

- vhodnou volbou materiálu
- konstrukční úpravou
- úpravou korozivního prostředí
- elektrickou ochranou
- povrchovými úpravami
- Pokovování ponořením do koupele z roztavených kovů - patří mezi nejstarší způsoby antikorozní ochrany. Ponořením se vytvářejí především povlaky ze Zn,

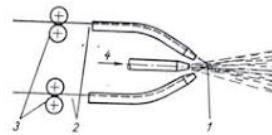
Sn, Pb. Po ohřátí a omočení povrchu se z koupele vyberou a ochladí.

- Plátování - při plátování se vrstva ochranného kovu na součástkách vytváří příválcováním, obléváním, pájkováním, nebo připravením houževnatého kovu, ochranného kovu, explozi.

Pistole na žárové stříkaní kovů

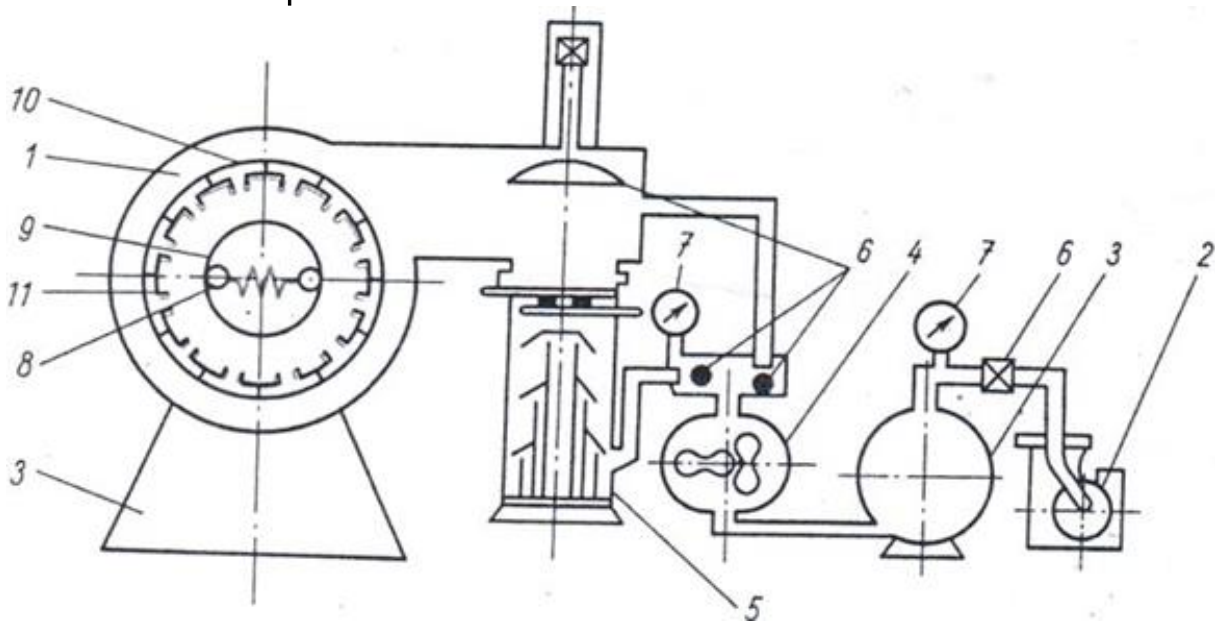


a-drátová plynová pistole: 1-směs C₂H₂ a A₂, 2-stlačený vzduch, 3-odtavující drát, 4-stříkaný předmět



b-drátová oblouková pistole: 1-elektrický oblouk, 2-odtavující drát, 3-podávací kladky, 4-stlačený vzduch

Zařízení na vakuové pokovování



1-pracovní vakuová komora, 2-rotační vývěva, 3-predvakuový plynojem, 4-Rootsová vývěva, 5-dyfúzní vývěva, 6-ventily, 7-měření vakua, 8-odparovaný kov, 9-elektóda na čištění součástek výbojem, 10 otočný držák s pokovovanými součástkami, 11-pokovované součástky

Ochranné povlaky a vrstvy z nekovů

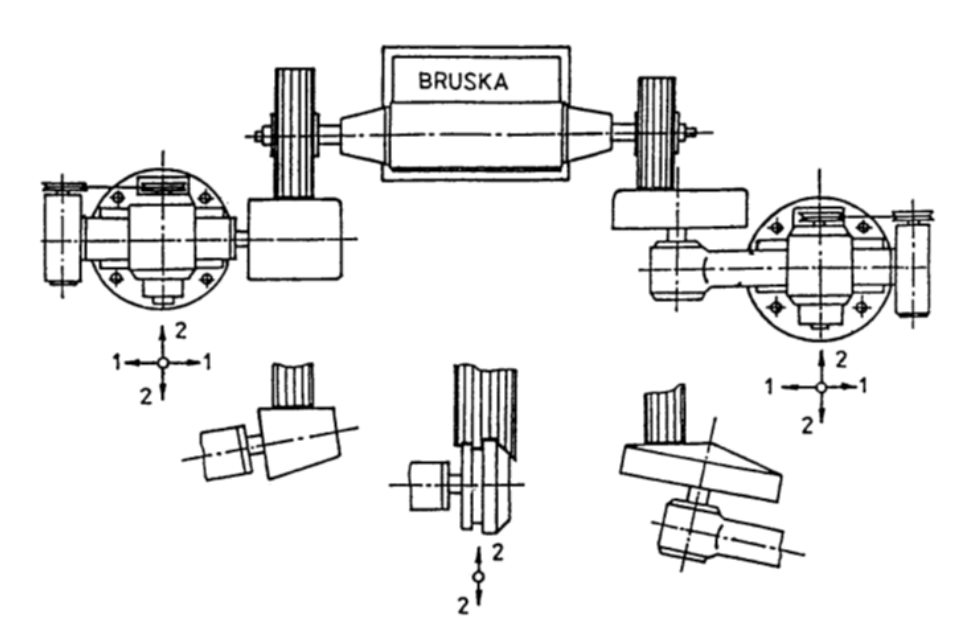
- Chemické úpravy povrchu
- Oxidace
- Chromování
- Fosfátování

- Difúzně sírování a sulfanitridování

Ochranné povlaky a vrstvy z nekovů

- Smaltování
- Povlaky z nátěrových látek
- Mechanické úpravy povrchu
- Povlaky z plastů

Ukázka strojů a přípravků pro broušení a leštění



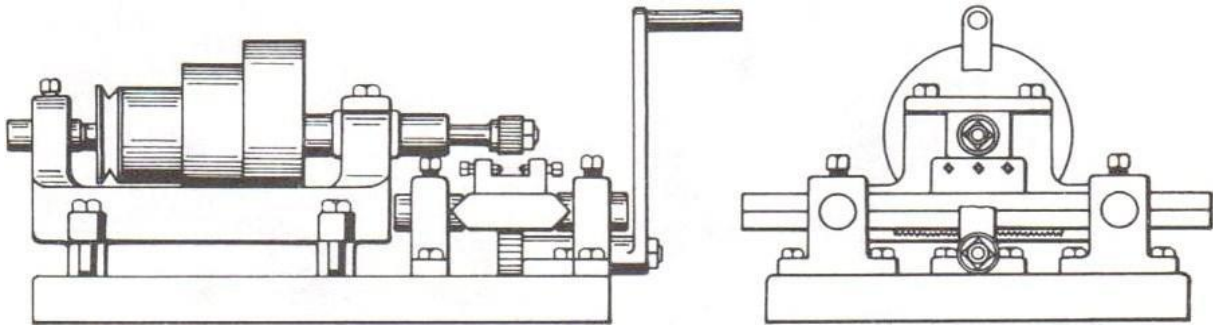
Antikorózní ochrana nekovových technických materiálů



6. Třískové obrábění

Historie pracovních nástrojů se začala psát asi před dvěma miliony let. Člověk začal upravovat použité předměty dle vlastní potřeby.

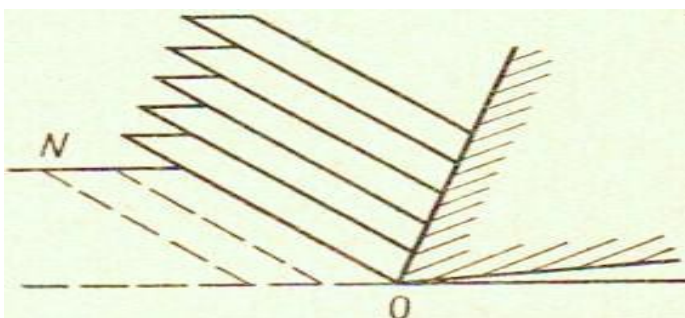
V roce 1818 sestrojil S. Morthem první nákres frézovacího stroje

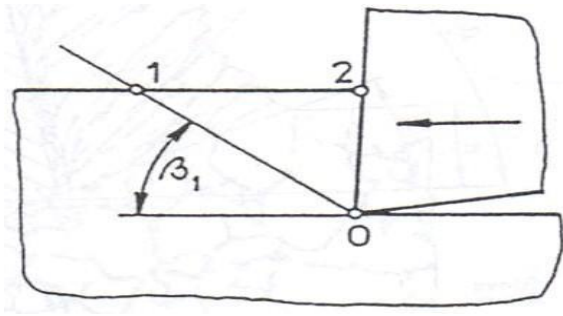


6.1. Teorie tvoření třísky

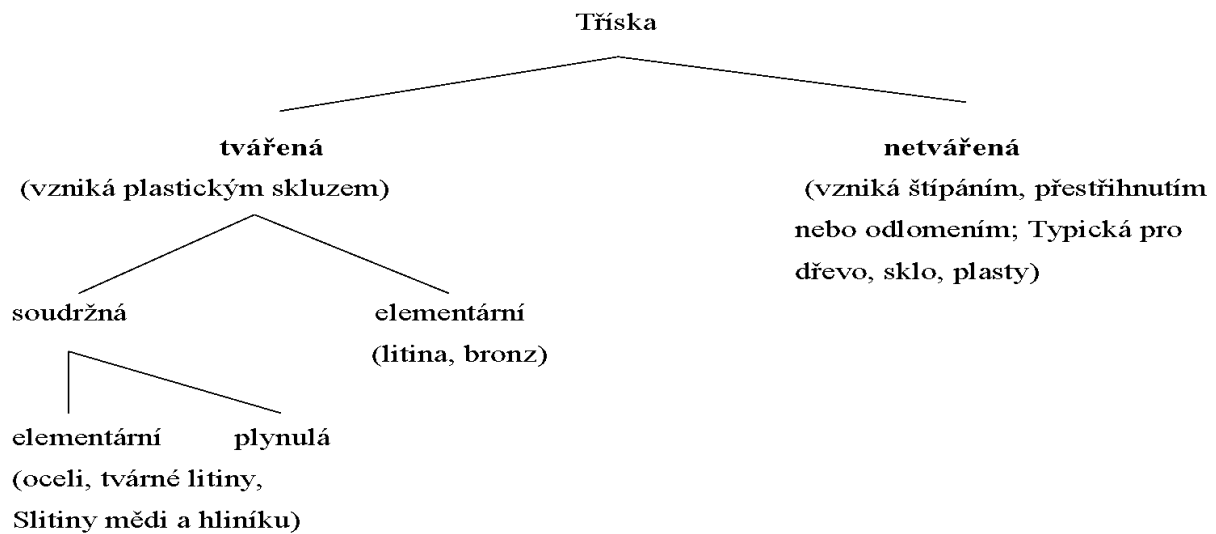
Při obrábění materiálu vzniká řezný klín a od polovýrobku se odděluje část materiálu. Tuto část nazýváme tříška. Dříve než se vytvoří tříška, vzniká intenzivní plastická zóna.

Při vzájemném tlaku tvrdšího nástroje a měkčího polovýrobku se naruší vazba jeho elementárních částí. Při počátečním dotyku nástroje s obráběným kovem (obr.) vyvolá tlak čela nástroje nejdřív elastickou a potom plastickou deformaci O12.



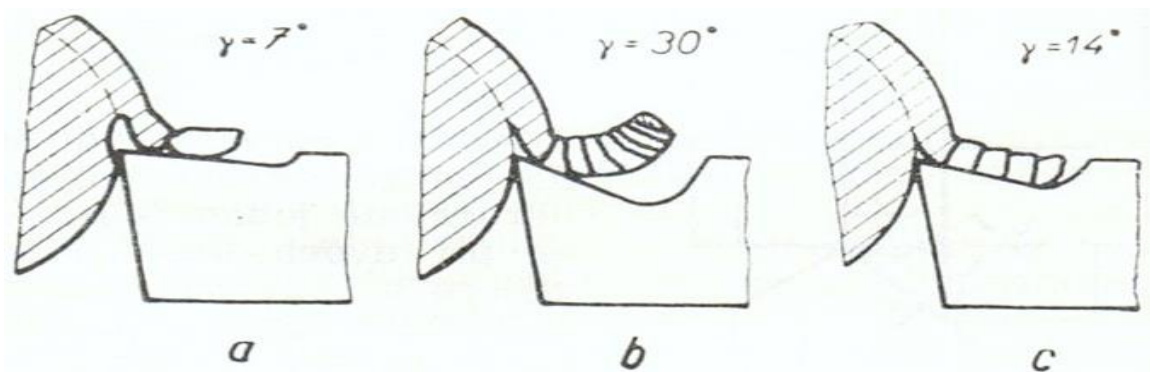


Druhy třísek a jejich dělení



6.2. Základní tvary třísek

Při materiálech s vyšší plasticitou zůstává odstřižený materiál při deformačních posuvech jednotlivých částí třísky nedotknutý a vzniká tříska plynulá (obr. b). Když materiál nevydrží deformační posuv, vytvoří se částičky odstřižené vrstvy a vzniká tříska členěná. Ta je buď dělená (obr. c) nebo droбивá (obr. a).

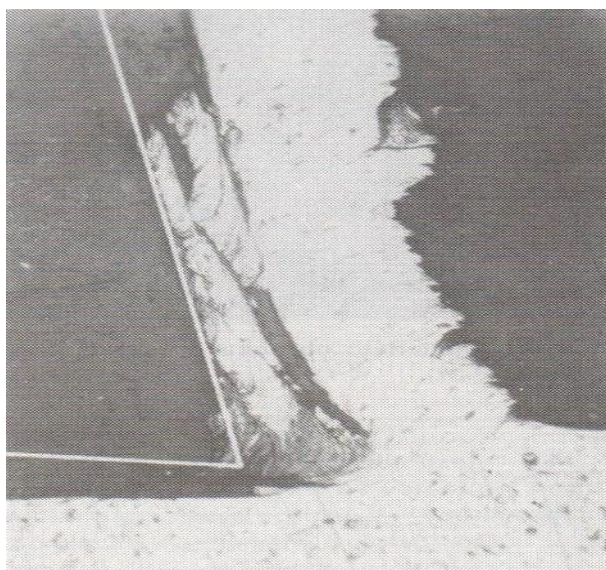


Tvar třísky je závislý hlavně od úhlu čela a řezné rychlosti. Čím je větší úhel čela, tím méně se tříška stlačí a láme. Potom vzniká tříška plynulá. Když se zmenšuje úhel čela nože, zvětšuje se stlačení třísky, tříška se láme a dělí se na menší kousky. Potom vzniká tříška členěná.

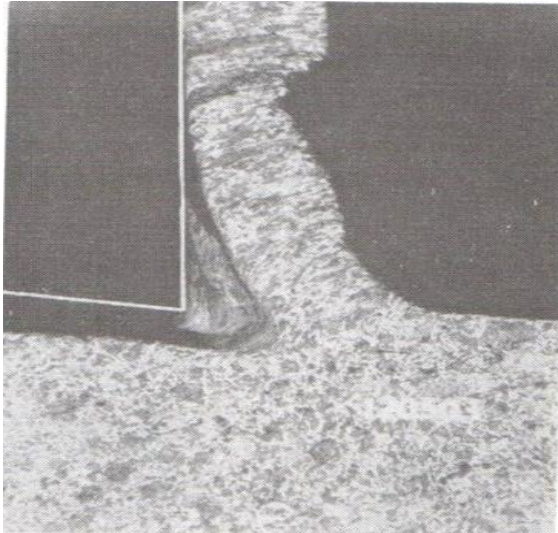
Na obr. je ukázán příklad zóny s nárůstkem na řezném klíně, kde nárůstek modifikuje původní geometrii řezného klínu. Zde se zvětšuje úhel čela i hřbetu.

Materiál je ocel 12050.1, nástroj SK, $v = 40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 0,2 \text{ mm}$.

Metalografický výbrus materiálu obrobku při tvoření třísky s nárůstkem



Metalografický výbrus materiálu obrobku při tvoření třísky s extrémním nárůstkem



6.3. Řezné materiály

Základní podmínkou uskutečnění požadované technologické operace, spolehlivé a dobré práce nástroje je správná volba řezného materiálu. Nejdůležitější vlastností řezných nástrojů je jejich řezivost. Z hlediska nástrojového materiálu zahrnuje tento pojem schopnost, při dostatečné houževnatosti, zachovávat pevnostní charakteristiky za vysokých teplot a odolávat opotřebení v místě styku břitu nástroje s obrobkem a odcházející třísky.

Materiál nástroje je volený s ohledem na jeho namáhání. Do materiálu obrobku vniká řezný klín při vysokém měrném tlaku. Materiál je oddělován ve tvaru třísky.

Základní vlastnosti materiálu:

- dostatečná tuhost, pevnost, houževnatost
- stálost mechanických vlastností i za zvýšených teplot
- nízká náchylnost na tepelnou únavu
- odolnost vůči opotřebení
- tepelná vodivost
- technologická výroba a zpracování

Nejpoužívanější řezné nástroje pro obrábění kovů:

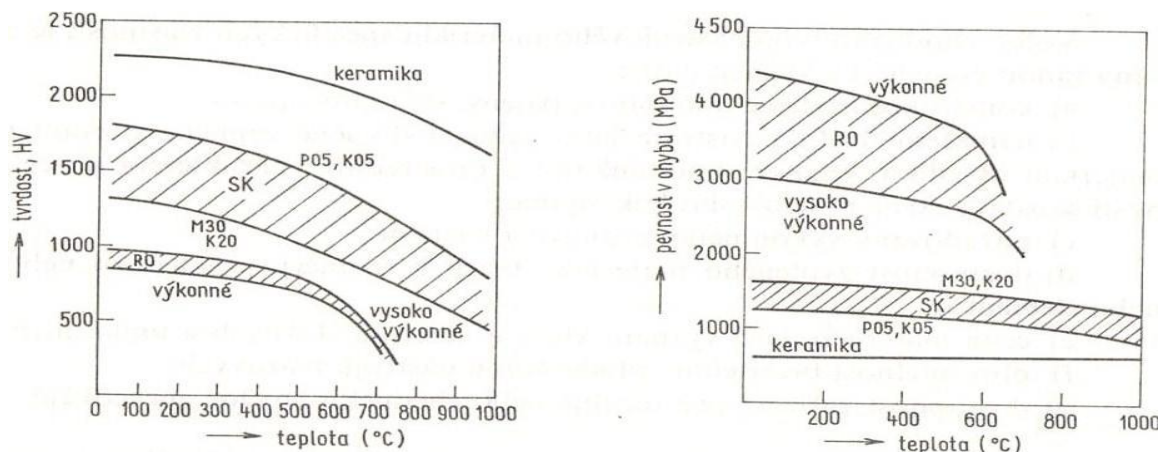
- slinuté karbidy
- nástrojové oceli
- řezná keramika
- velmi tvrdé materiály

Použití vhodného typu materiálu pro nástroj je ovlivněno některými činiteli, ke kterým patří:

- namáhání břitu
- požadavky na trvanlivost nebo výkon nástroje
- konstrukce nástroje
- namáhání nástroje i břitu jako celku
- požadovaná trvanlivost nástroje
- požadovaný výkon
- dostupnost požadovaného materiálu
- cena materiálu
- obrobitelnost broušením především u tvarových nástrojů

Řezné vlastnosti břitu a říznost nástrojových materiálů

Chceme-li navrhovat konstrukci břitu, měli bychom mít na mysli komplexní zhodnocení dostupných údajů o obráběném materiálu a zvoleném řezném materiálu. Nejlepším řešením je vycházet z výsledků zkoušek říznosti. Tyto zkoušky jsou nejspolehlivějším ukazovatelem výkonu.

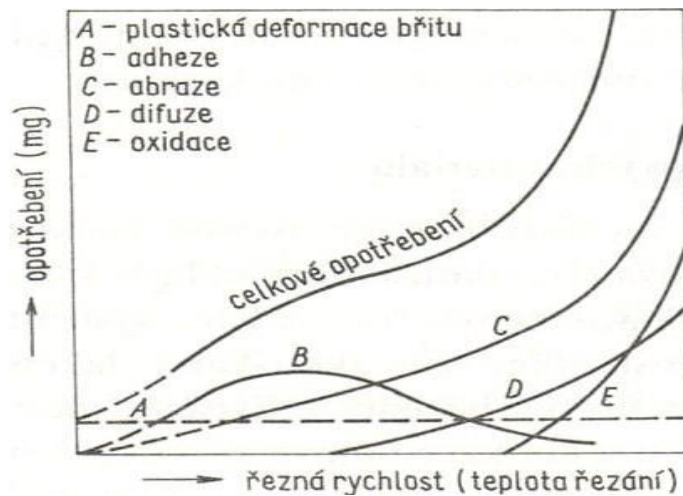


Teplotní závislosti pevnostních charakteristik ocelových nástrojů shrneme pod pojem odolnost při popouštění. Tyto závislosti jsou rozhodujícím kritériem výkonu nástroje při obrábění kovových materiálů s vysokou teplotou tavení. Nejběžnější způsob hodnocení je stanovení tvrdosti materiálu při 20°C nebo zjištění tzv. tvrdosti za tepla a), Obr. B) ukazuje vliv teploty na pevnost v ohybu.

Mechanismy opotřebení v závislosti na řezné rychlosti

Další významnou vlastností říznosti je chemická stálost za vysokých teplot a odolnost proti opotřebení. K působení mechanismů opotřebení dochází v místě styku břitu s obrobenou plochou a třískou. Mezi nejdůležitější mechanismy opotřebení patří oxidace,

difuze, adheze a abraze. Jejich výskyt je vázán na interakci nástroj-obrobek, na řezné podmínky (obr.) a jiné faktory (např. řezné prostředí).



Pracovní schopnosti řezného materiálu, které komplexně určují míru jeho výkonnosti, vyjadřujeme pojmem říznost. Říznost určujeme úhrnem fyzikálních, chemických a technologických vlastností nástrojových materiálů, které ovlivňují volbu řezných materiálů. Musíme brát zřetel na kvalitu operace obrábění.

Říznost nástrojového materiálu

Říznost nástrojového materiálu se vyjadřuje indexem:

$$I = \frac{V_{cT}}{V_{ceT}}$$

kde:

v_{cT} - je řezná rychlost dosaže na hodnocení řízných materiálů při trvanlivosti řezného klínu T , v_{ceT} - řezná rychlost dosáhnuta referenčním materiálem při stejné trvanlivosti řezného klínu T při rovnakým kritériu otupení, za stejných podmínek zkoušek jako při hodnoceném řezném materiálu.

6.4. Materiály

Slinuté karbidy

Jsou to výrobky práškové metalurgie. Jejich objev znamenal zvýšení produktivity práce,

znamenal zvýšení řezných rychlostí. Základní složka je karbid wolframu, dále může obsahovat kyslíčník chromu, kobalt, karbid tantalu, karbid molybdénu, karbid titanu a karbidu niobu. Podle množství komponentů získáme řezný materiál s různými mechanickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi.

Príslušný druh slinutého karbidu výrobce zařazuje do určité skupiny používání a to podle ISO 513.

Podle této normy se slinuté karbidy dělí na skupiny P, M, K a další dvoumístné číslo.

P – vhodné pro materiály s plynulou třískou,

M – universální,

K – pro materiály s krátkou, drobnou třískou.

- **Výhody:** zachování vysoké tvrdosti, odolnost vůči opotřebení, trvanlivost řezní hrany při teplotách 900°C - 1000°C.
- **Nevýhody:** křehkost, nesnášejí namáhání na ohyb, citlivost na teplotní rázy

Nástrojové oceli

Nástrojové oceli dělíme na:

- uhlíkové oceli
- slitinové oceli
- rychlořezné oceli
- oceli na odlévání nástrojů

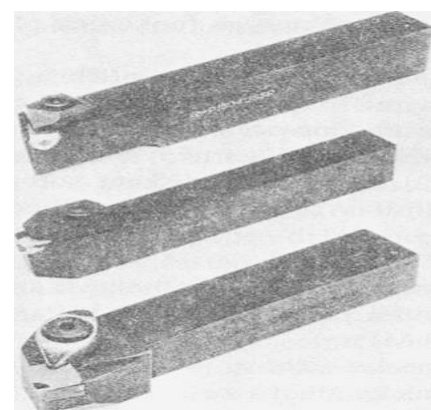
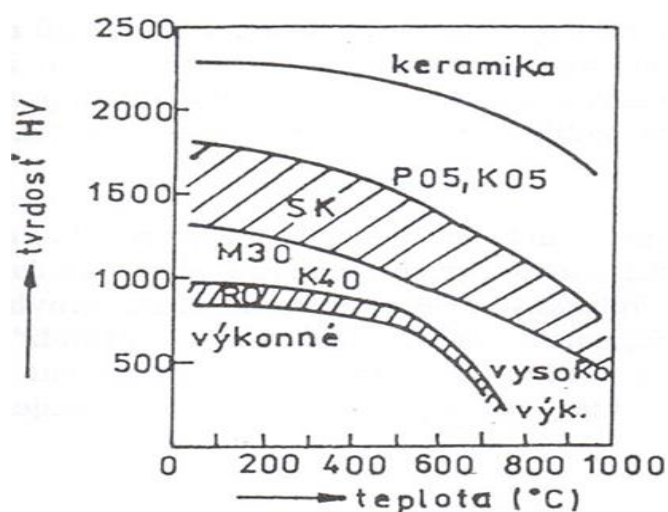
Řezná keramika a kovokeramika

Tyto materiály se vyznačují výbornými charakteristikami některých mechanických vlastností, zvláště pevností tlaku a tvrdosti. Dále dobrou chemickou stálostí a odolností vůči opotřebení.

ŘEZNÁ KERAMIKA

oxidová	směsná	bezoxidová
Čistá oxidová 99% Al_2O_3	Al_2O_3+TiC	Kubický nitrid Boru KNB
Polosměsováoxi - dová $Al_2O_3+ZrO_3$	$Al_2O_3+TiC + TiN$	Polokristalický diamant PCD
	$Al_2O_3+ WC + TaC$	

Závislost tvrdosti řezných materiálů na teplotě řezání



Příklady řezných

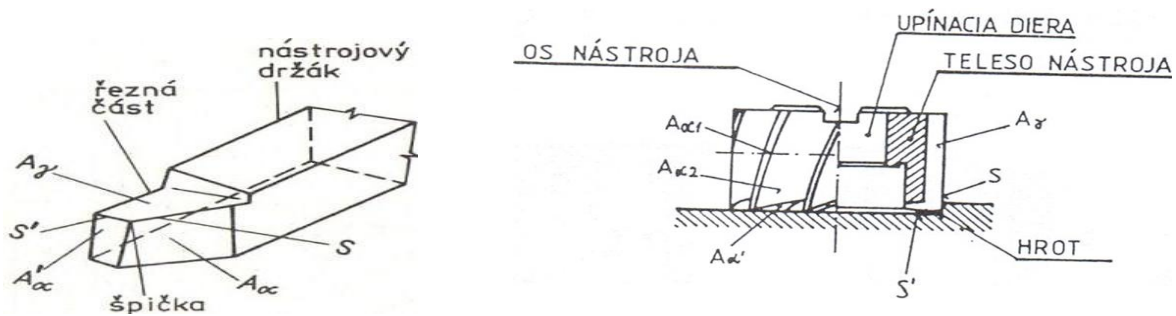
Základní rozdělení řezných materiálů a oblast jejich použití vzhledem na řeznou rychlost a povolenou teplotu řezání

Druh RM	Řezná rychlost [m/s]	Teplota [°C]
NÁSTROJOVÉ OCELI uhlíkové legované rychlořezné	0,16 - 0,2	220
	0,2 - 0,3	280
	1	600
SLINUTÉ KARBIDY	4,16 /10/	1000
KERAMICKÉ MATE- RIÁLY	16,6 /25/	1400
BRUSIVA	15 - 30	1500

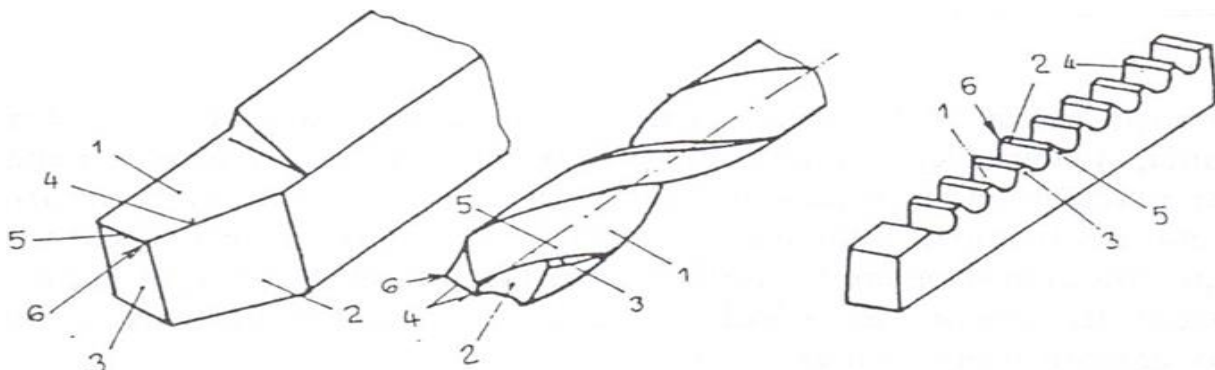
Geometrie řezného břitu

V obecné rovině pod pojmem obráběcí nástroj rozumíme nástroj, který se skládá z:

- řezný klín- tvořen čelem a hřbetem
- těleso nástroje - část nástroje, která slouží k upevnění řezní části nástroje
- nástrojový držák - část nástroje, která slouží k upevnění vnějším povrchem
- upínací otvor - část nástroje, která slouží k upevnění vnitřním povrchem
- os nástroje
- základna
- čelo A_γ
- hlavní hřbet A_α
- vedlejší hřbet $A'\alpha$



Řezný klín je ta část nástroje, která má schopnost vnikat do obráběného materiálu. Řezný klín tvoří různě orientovány plochy hřbetu a čela příp. Plochami vedlejšího hřbetu. Průnik čela a hřbetu tvoří hlavní řezní hranu a průnik čela a vedlejšího hřbetu tvoří vedlejší řeznou hranu. Průsečnice čelní plochy a hřbetových ploch jsou řezné hrany (ČSN 22 00 11 Řezné nástroje). V obecné rovině uvedené plochy mohou být šroubové, rovinné, válcové, kuželové apod. Plochy na různých typech nástrojů : 1-čelní plocha, 2- hlavní hřbetová plocha, 3- vedlejší hřbet, 4- hlavní řezná hrana, 5- vedlejší řezná hrana, 6- špička



Strojní obrábění

Obráběcí stroj opracovává polovýrobek do žádaného rozměru, tvaru a kvality povrchu. K zabezpečení obráběných ploch součástek, obráběcí stroj zabezpečuje vzájemné pohyby obrobku a nástroje.

Způsob obrábění je jedním z kritérií na dělení obráběcích strojů. Obráběcí stroje dělíme na typy:

- soustruhy
- frézky
- brousky
- vrtačky
- vyvrtávačky
- hoblovačky
- obrážečky
- protahovačky
- honovací stroje
- lapovací stroje
- superfinišovací stroje

6.5. Základní pohyby, plochy při obrábění a podmínky řezání

Na odříznutí třísky při strojním obrábění jsou potřebné tyto dva pohyby:

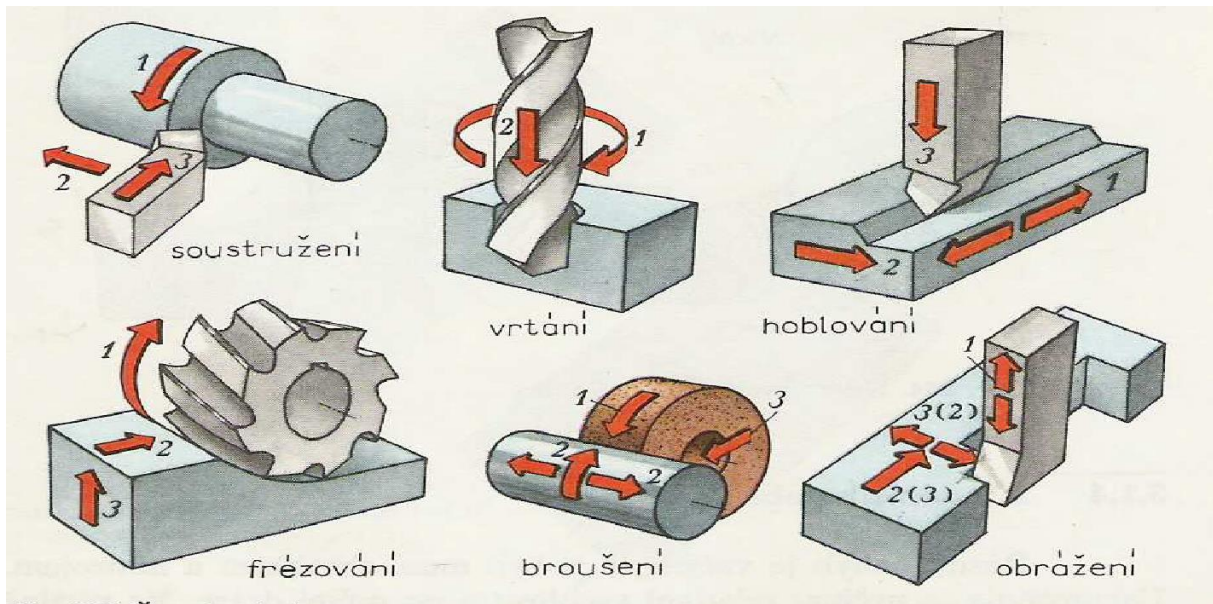
- hlavní řezný pohyb
- vedlejší řezný pohyb

Rozdělení obrábění podle hlavního řezného pohybu:

- rotační pohyb vykonává obrobek - soustružení
- rotační pohyb vykonává nástroj - vrtání, vyhrubování, vystružování, zahlubování, frézování, broušení,

Řezání kotoučovou pilou

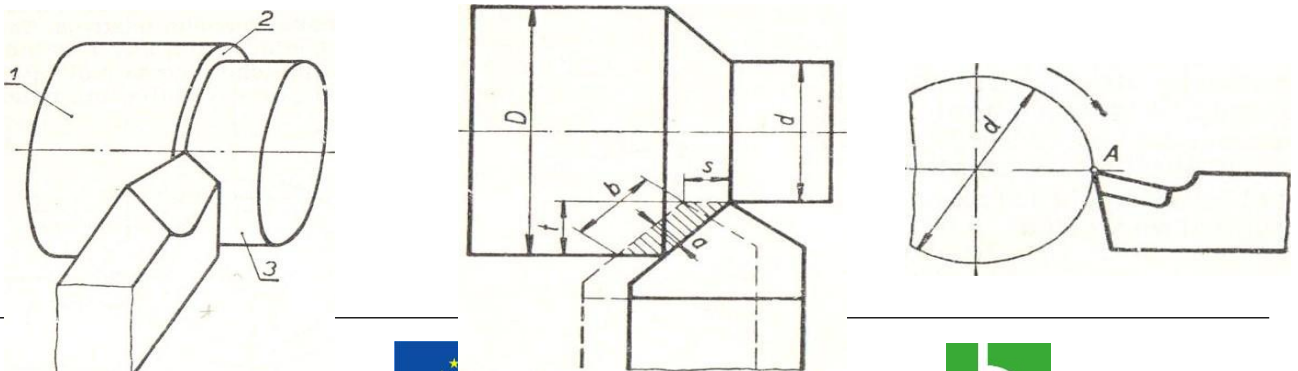
- přímočarý vratný pohyb vykonává obrobek – hoblování
- přímočarý vratný pohyb vykonává nástroj - obrázení, protlačování, protahování, řezání rámovou pilou, řezání pásovou pilou, pilování



6.6. Základní plochy

Při vnikání řezného klínu do obrobku a posuvu vznikají tři základní plochy (obr. 7.26):

- obráběná plocha 1 – vzniká obráběním
- řezná plocha 2 – vzniká hned za řeznou hranou na součástce
- obrobená plocha 3 – vzniká obrobením



Základní plochy
při obrábění

Rozměry průřezu třísky

Hlavní pohyb

6.7. Soustružení

Soustružení je nejrozšířenější technologická operace. Soustružením je možné obrábět vnitřní i vnější válcové plochy, kulové a obecné rotační plochy. Na soustruhách je možné vrtat, vyhrubovat, vystružovat, vyrábět vnější a vnitřní závity soustružnickými noži nebo pomocí závitníků.

Soustruh a jeho hlavní části

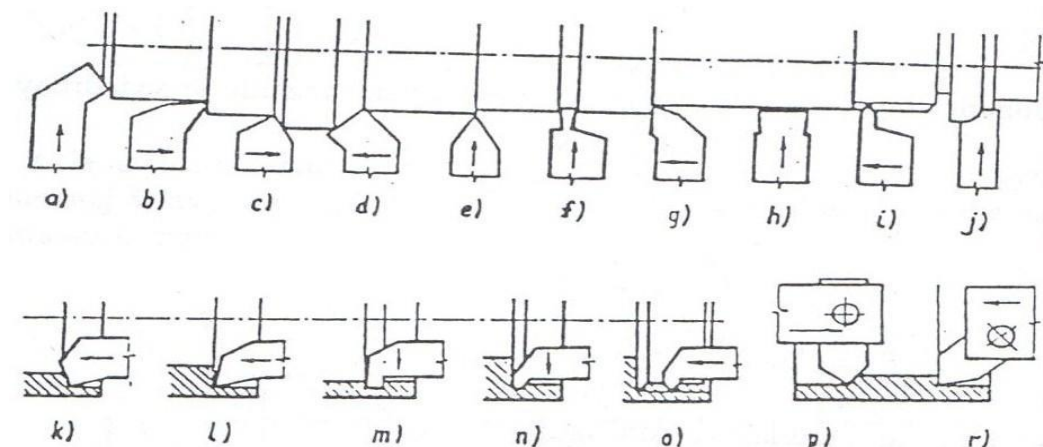


Rozdělení soustružnických strojů

Existuje mnoho typů soustruhů. Obecně je kategorizujeme podle ČSN 200200 na:

- hrotový
- revolverový
- čelní
- svislý
- poloautomatický
- automatický
- speciální soustruhy

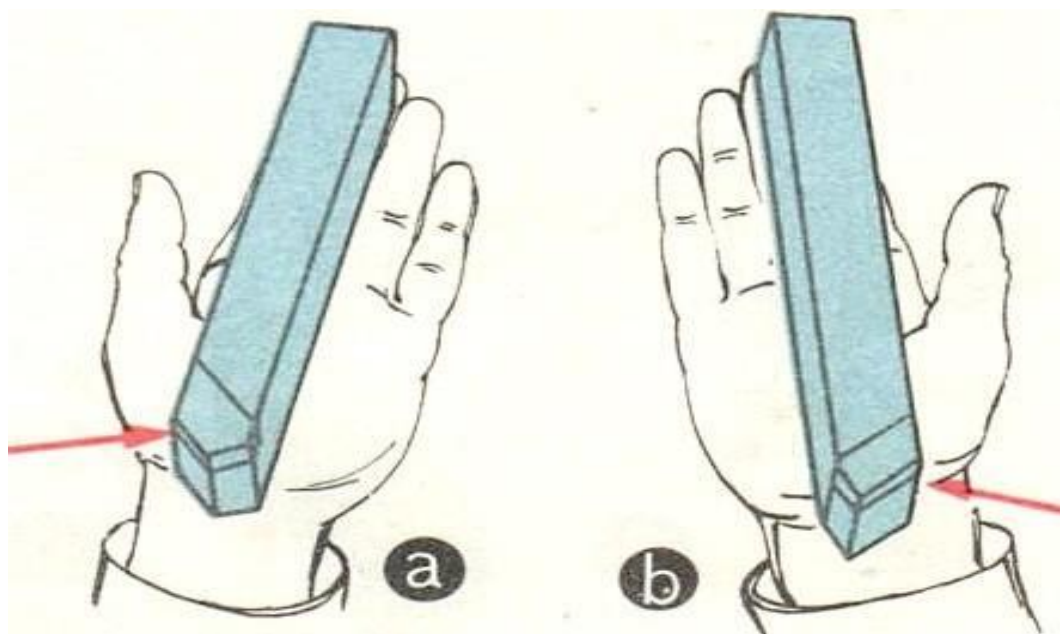
Základní typy soustružnických nožů a plochy s nimi vyrobitelné



a) vyhnutý ubírací levý, b) rohový levý, c) přímý ubírací levý, d) vyhnutý ubírací pravý, e) úzký hladící, f) zapichovací, g) stranový ubírací pravý, h) široký hladící – nabírací, i) závitový, j) rádiusový pravý, k) vnitřní ubírací pravý, l) vnitřní rohový, m, n) vnitřní zapichovací, o) vnitřní závitový, p) vnitřní přímý ubírací, r) vnitřní stranový ubírací

Určení pravého a levého nože

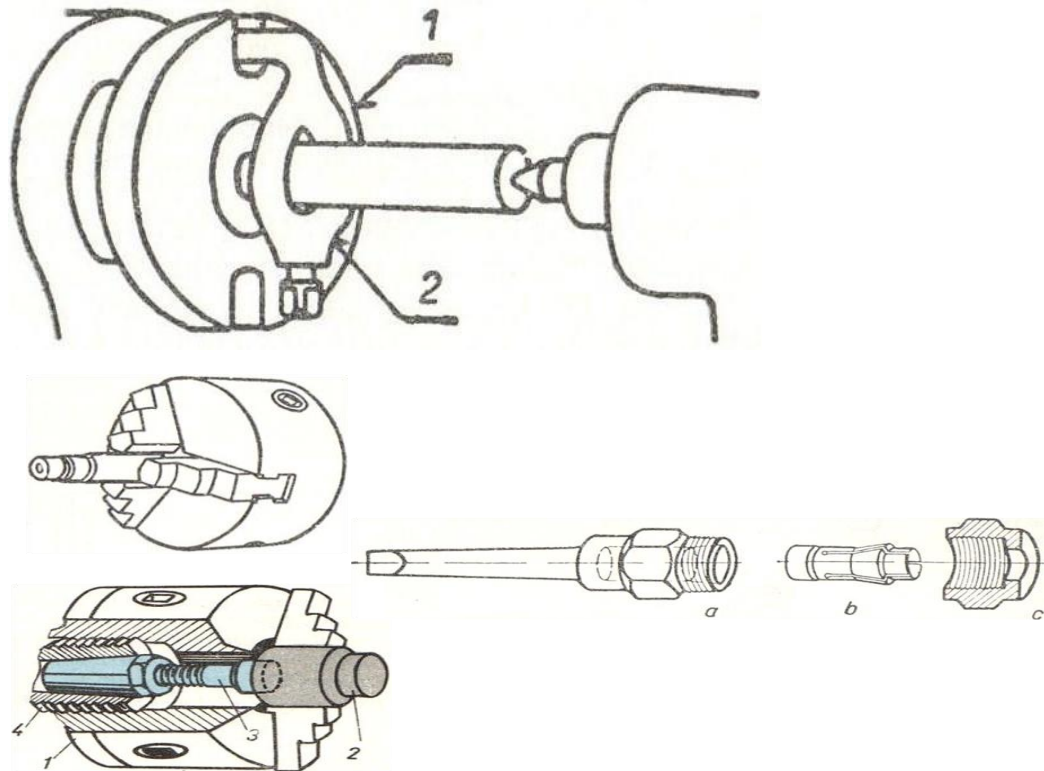
Při práci soustružník používá pravý anebo levý nůž. *Pravý nůž* soustruží při podélném posuvu od koníka k vřeteníku a *levý nůž* směrem od vřeteníku ke koníku. Směr nože se určuje podle toho, kam směřuje hlavní ostří nože položeného ložní plochou na dlaní ruky, přičemž jeho hrot směřuje na tělo soustružníka



Upínání obrobků při soustružení

Obecně rozeznáváme dva základní způsoby upnutí:

- letmý – bez podepření
- s podporou koníku (sklíčidlo a hrot, mezi hroty)



6.8. Frézování

Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává ho fréza. Vedlejší pohyb je posuvný a je vykonáván obrobkem. Použitým nástrojem je fréza. Je to více klínový rotační nástroj.

Výsledný řezný pohyb zubů nástroje je po dráze zkrácené cykloidy. Rychlost hlavního řezného pohybu – řezní rychlost (v_c) vypočteme dle vzorce

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$$

Kde:

D - průměr frézy

n - otáčky frézy za min

v_c - řezná rychlost

Rychlost posuvu při frézování vypočteme dle vztahu

$$v_c = f_z \cdot z \cdot n = f \cdot n \quad [\text{mm/min}]$$

Kde:

f_z - posuv na zub

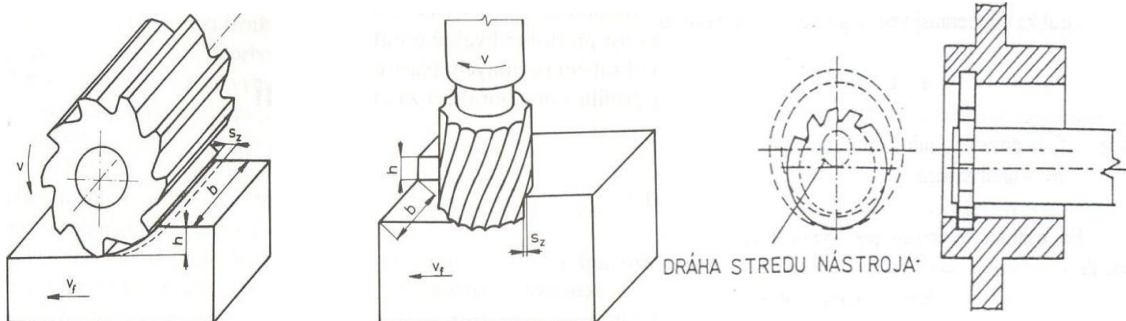
f - posuv na otáčku

z - počet zubů

n - otáčky

Podle polohy osy nástroje k obráběné ploše rozlišujeme frézování

- **válcové frézování** – jehož osa je rovnoběžná s obráběnou plochou a hloubka řezu se nastavuje v rovině kolmé na osu frézy
- **čelní frézování** – jehož osa je kolmá na obráběnou plochu, hloubka řezu je nastavována ve směru osy nástroje
- **okružovací frézování** – osa nástroje a obrobku jsou obvykle vzájemně skloněné a hloubka řezu se nastavuje ve směru kolmém na osu obrobku
- **planetové frézování** - obr. 7.5

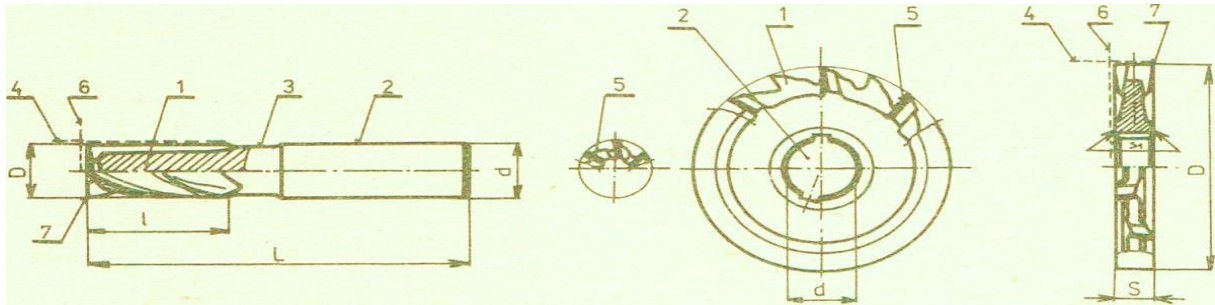


válcové

čelní

planetové

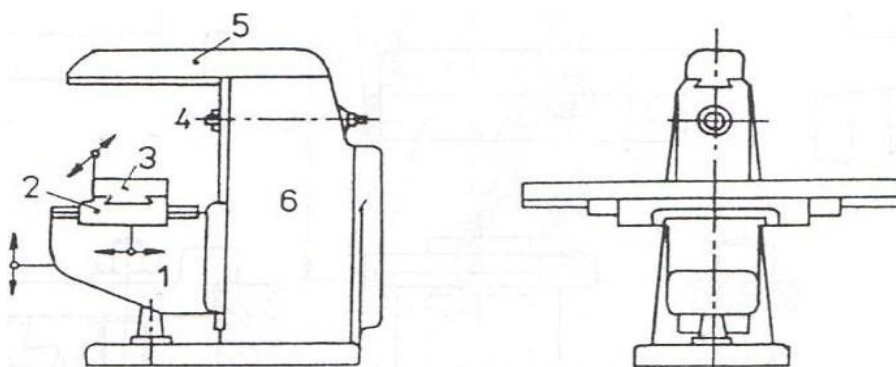
Nástroje používané při frézování



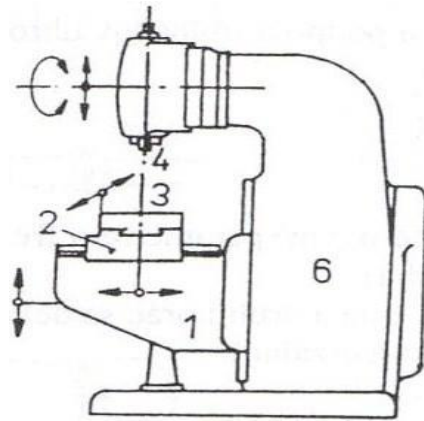
	Základní rozměry		Základní části
D	Průměr frézy	1	Řezná část nástroje
l	Délka řezné hrany	2	Upínací část
L	Celková délka frézy	3	Krček
S	Šířka řezné hrany frézy	4	Hlavní řezná hrana
S ₁	Upínací šířka	5	Vedlejší řezná hrana
		6	Čelo frézy
		7	Hrot zubu

Frézovací stroje (frézky)

Frézky se vyrábějí ve velkém množství modelů a velikostí s různými maximálními výkony. Lze je rozdělit do čtyř základních skupin: *konzolové, stolové, rovinné a speciální*. Zvláštní kategorií jsou frézky na *závity* a frézky na *ozubení*.



Konzolová frézka vodorovná



Konzolová frézka svislá

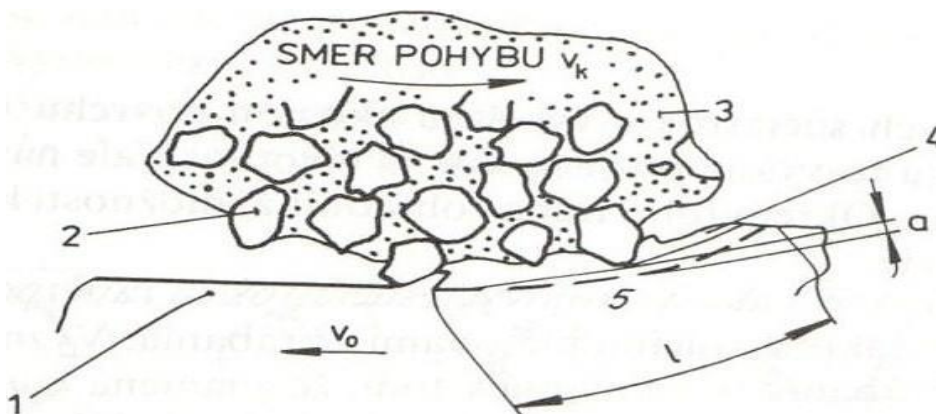
1-konzole, 2-příčné saně, 3-pozdržní stůl, 4-vřeteno, 5-rameno, 6-stojan

6.9. Broušení

Broušení je třískové dělení materiálu s více řeznými klíny vytvořenými zrny brusiva. Zrny brusiva jsou v nástroji upevněny pojivem tak, že nástroj vykazuje pórovitou strukturu. Charakteristické je nepravidelné rozmístění řezných klínů (brusných zrn), které mají navíc náhodnou orientaci a náhodnou geometrii. Zvláštností broušení je, že proces se děje za účasti velkého množství relativně malých zrn v krátkých úsecích. Tříska se odřízne v relativně krátkém časovém úseku cca 0,001 sekundy. Zpravidla větší část tohoto časového úseku je potřeba na plastickou deformaci stlačením a nahrnutím materiálu před řezným klínem. Vzhledem k vysoké řezní rychlosti a značné deformaci odebrané vrstvy materiálu vzniká teplota v místě řezu 1200 - 1500°C.

Činnost zrn brusného kotouče v průběhu procesu

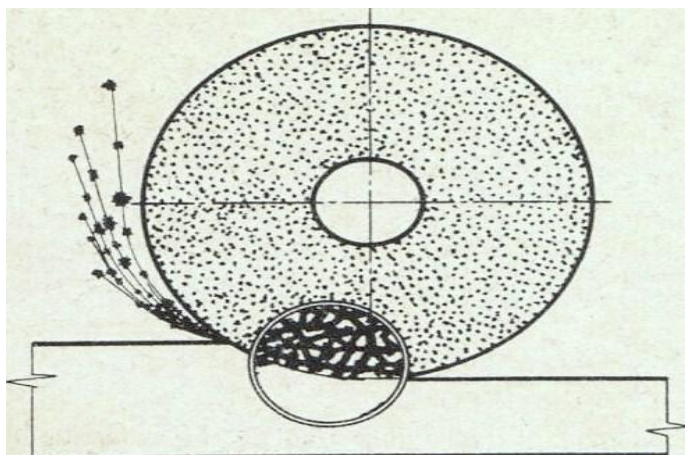
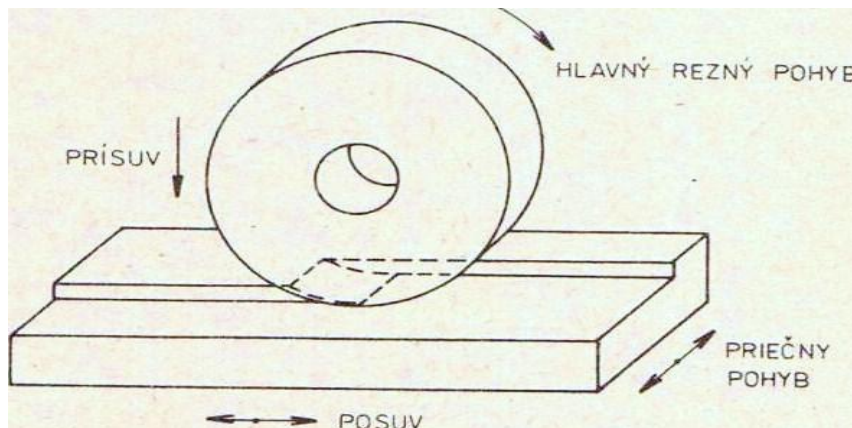
Podstatou každé metody broušení je úběr brusným zrnem jako efekt účinků brusného zrna na obráběný materiál. Jedná se o vazbu brusní zrna a materiál obrobku.



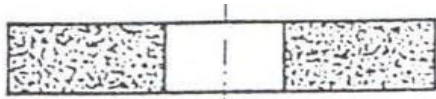
1-obrobek, 2-brusní zrno, 3-pojivo, 4-odřezávaný materiál, 5-prostor na třísku,

v_k -obvodová rychlost kotouče, a -hloubka, odřezávané vrstvy, v_o -obvodová rychlost kotouče

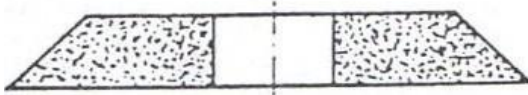
Hlavní a vedlejší pohyby a činnost kotouče při broušení



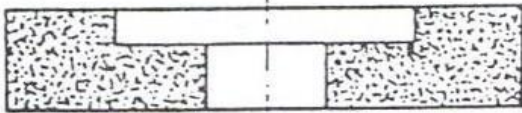
Tvary brusných kotoučů



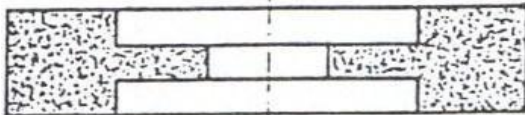
plochý brusný kotouč



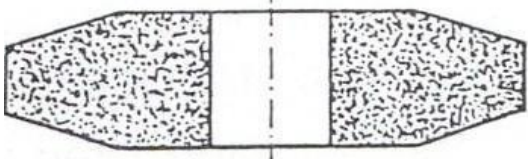
brusný kotouč jednostranně skosený



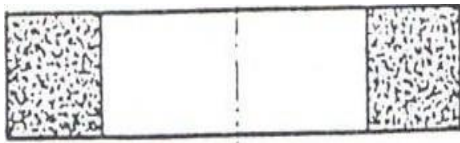
brusný kotouč s jednostranným vybráním



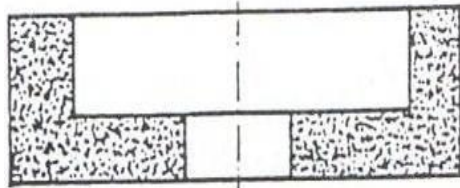
brusný kotouč s oboustranným vybráním



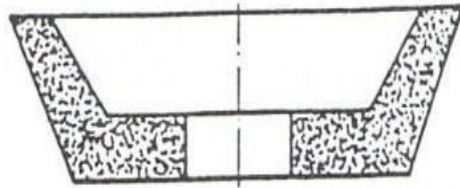
e) brusný kotouč oboustranně kuželový



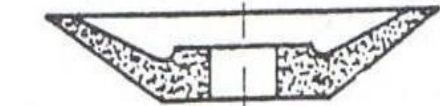
f) prstencový brusný kotouč



g) hrncový brusný kotouč,



h) miskový brusný kotouč,

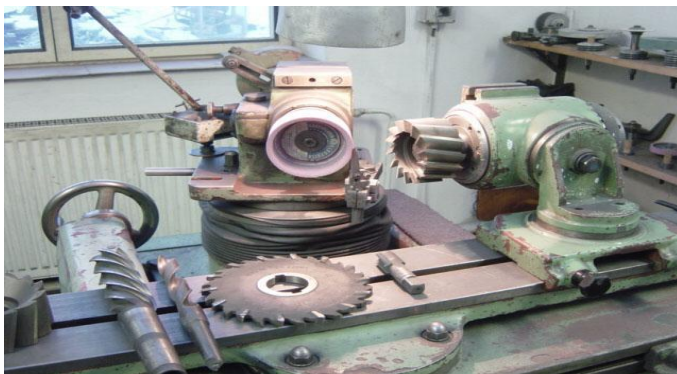


Klasifikace brousících strojů

Podle účelu a způsobu práce dělíme brousící stroje na:

- hrotové
- bezhrtové
- na otvory (díry)
- rovinné
- nástrojařské
- planpararelní

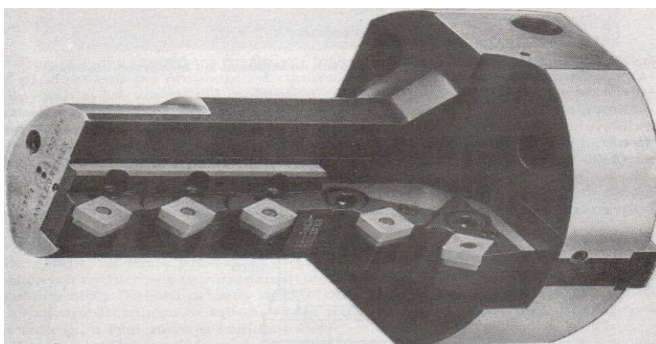
Nástrojařská bruska



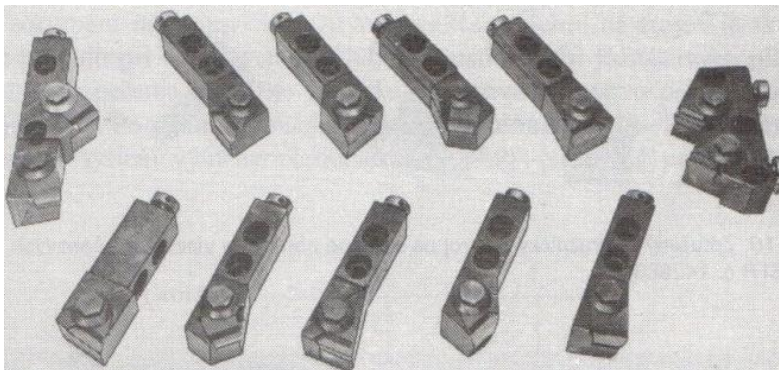
Nástrojové vybavení automatizovaného výrobního systému

Systém nástrojového vybavení je jedním z faktorů, který podmiňuje provozní spolehlivost automatizovaných výrobních systémů. Spolehlivé a vysokovýkonné řezné nástroje jsou předpokladem pro efektivní i stabilní provoz automatizovaného výrobního systému. Řezné nástroje na základě analýzy existujících systému je možné rozdělit na:

- normalizované,
- kombinované,
- nástrojové hlavy
- víceřetenové hlavy
- speciální řezné nástroje.



Sdružený blokový nástroj určených pro skladní do blokových nástrojů



Soustava nožových držáků s povlakovanými řeznými plotničkami

7. Technologie montáže a oprav

Montáž je vytváření pevných nebo pohyblivých spojů mezi tuhými součástkami, ale i mezi dávkami kapalin a plynů. Montáž vytváří závěrečný proces výrobního systému. Výrobním systémem můžeme chápat výrobní podnik. Potom montážní systém je jen jeden podsystém výrobního systému.

Rozhodující prvky montážního podsystému

- montážní výrobek
- montážní technika
- montážní technologie (způsoby vytváření spojů požadované funkce)
- člověk v montáži
- informační systém
- energetický systém

Základní aktivity montáže

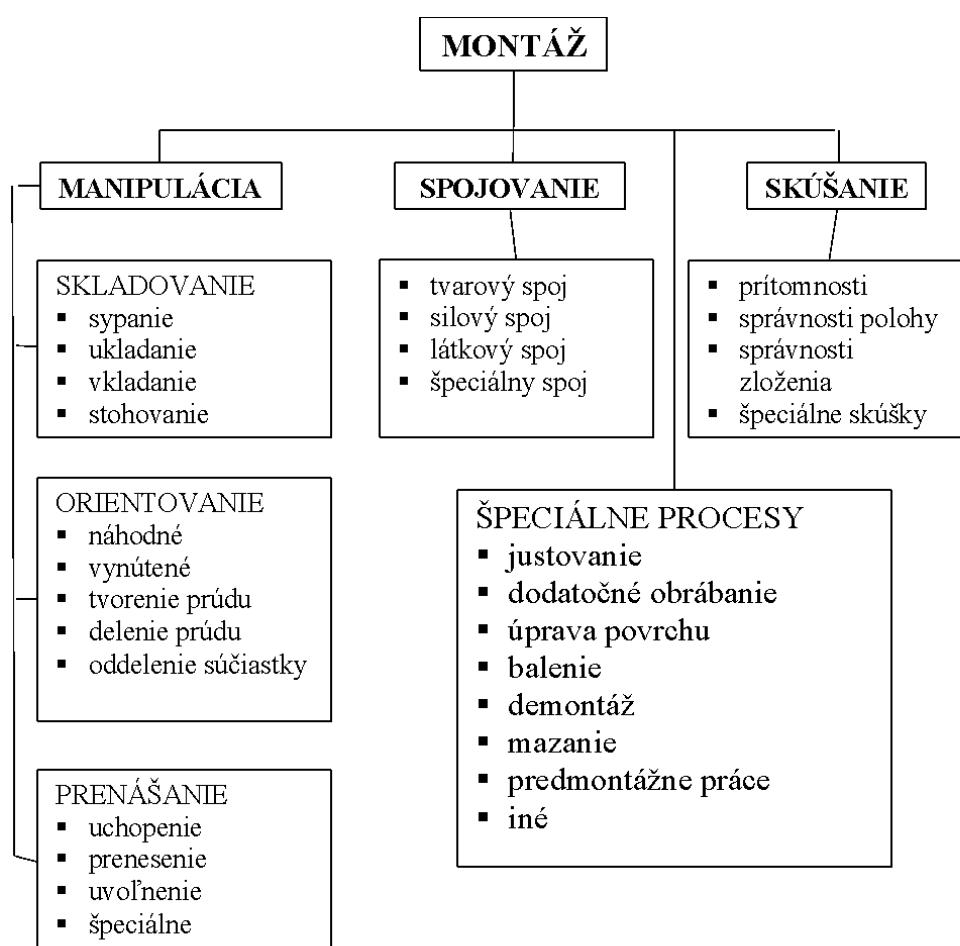
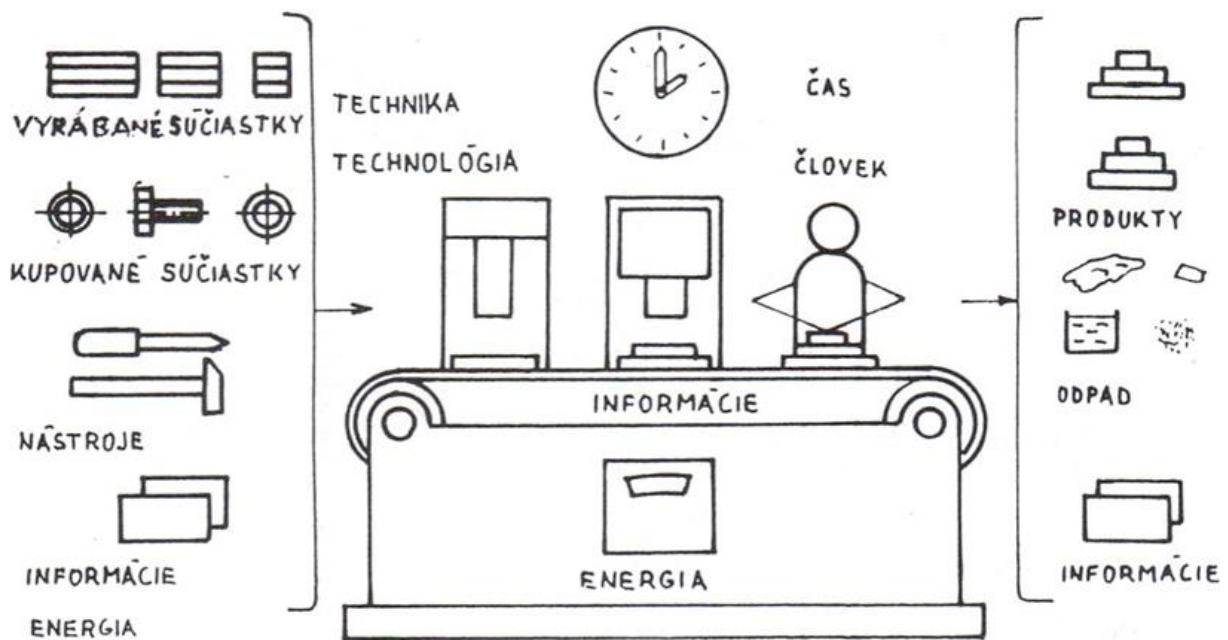
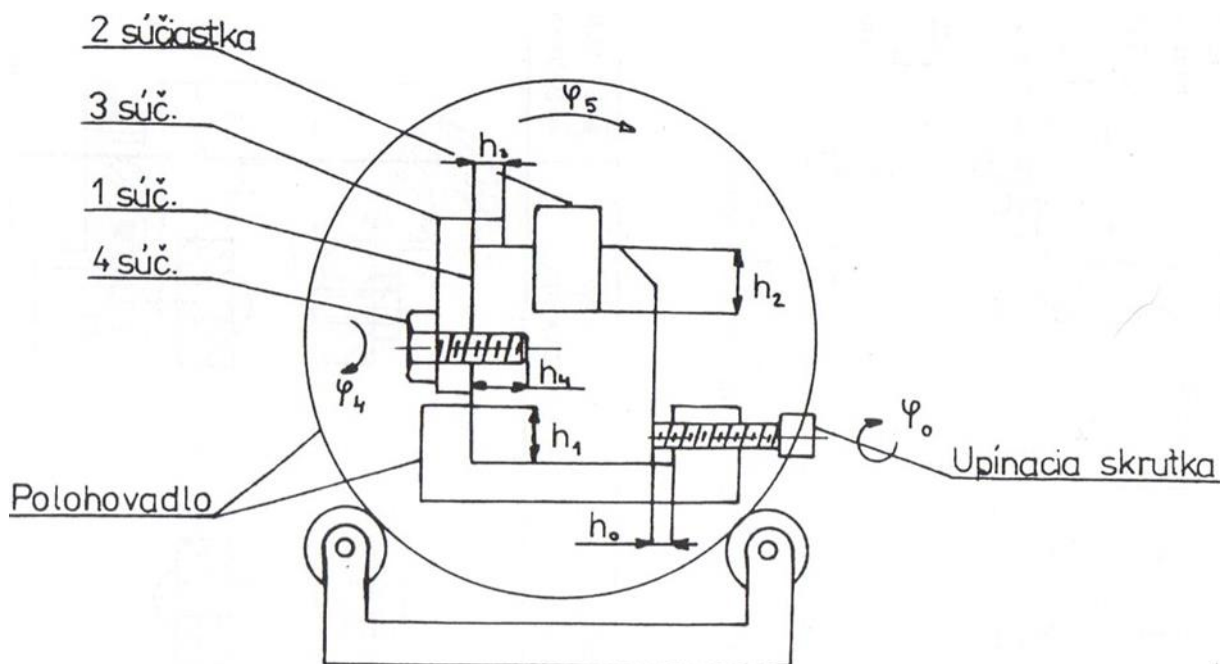


Schéma všeobecného montážního systému



Představa mont. procesu pro hodnoceni technologičnosti konstrukce z hlediska montáže



Základy montážních prací

- Kontrola tvaru a polohy
- skrutkové spoje
- Spojovací kolíky, klíny a perá
- Kluzné ložiska

- Valivé ložiska
- Součástky k přenosu otáčivého pohybu
- Mechanizmy na změnu pohybu

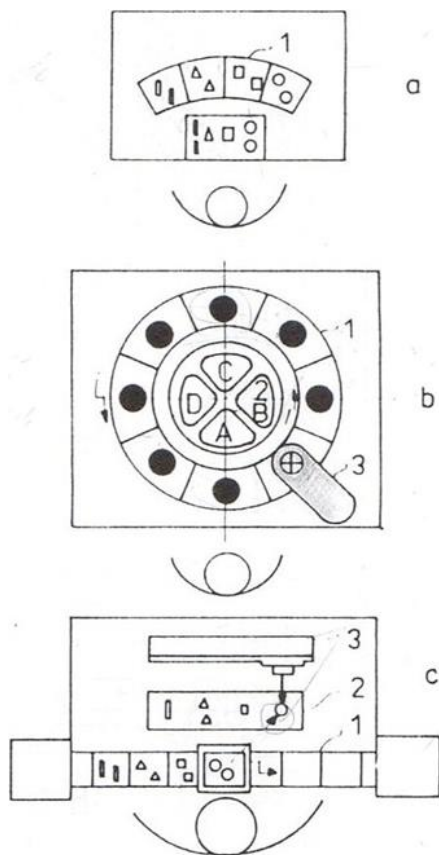
7.1. Montážní pracoviště

Montážní pracoviště je pojem pro vymezený prostor s příslušným technickým vybavením. Vybavení pracoviště je určeno pro ruční, mechanizovanou nebo částečně automatizovanou montáž, kterou zabezpečuje jedna nebo víc osob.

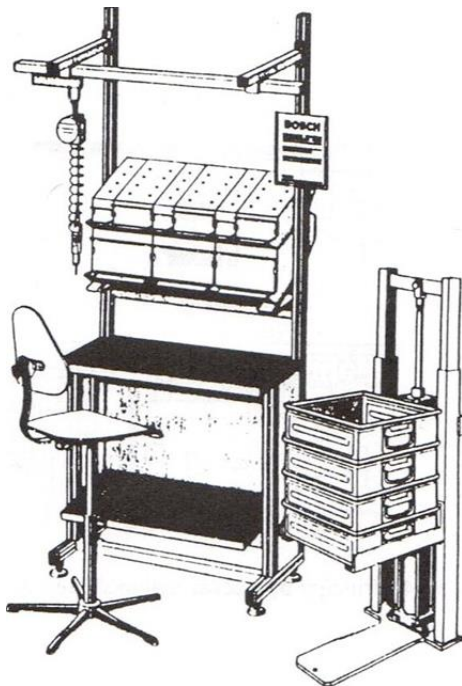
Typizované části montážního pracoviště

- Montážní stůl
- Stolička
- Podnožka – je to přestavitelná opěrka chodidel
- Motorické nářadí zavěšené na konzole pomocí vyvažovačů
- Krabicové zásobníky
- Místní osvětlení
- Opěrka ramen a předloktí

Montážní pracoviště



Lehké stolové montážní pracoviště firmy BOSCH



na montážních pracovištích je i montážní technika

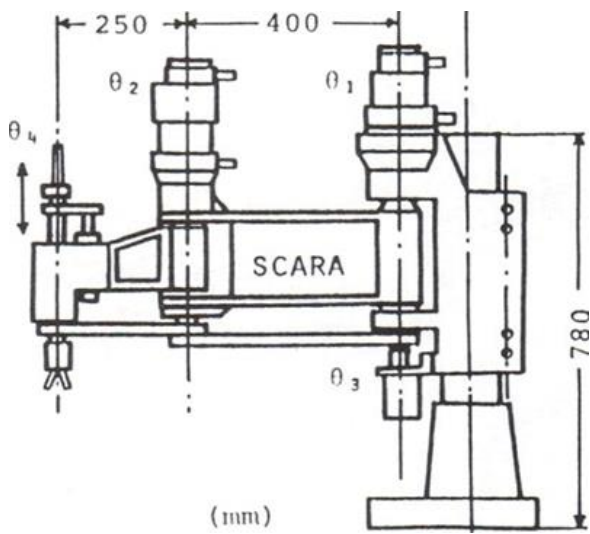
- základní jednotky demontážních zařízení,
- základní jednotky montážních zařízení,
- základní jednotky pro individuální pracoviště,
- základní jednotky pro montážní stroje a linky,
- ručně ovládané (přenášené) zařízení,
- ručně montážní zařízení,
- strojové montážní zařízení,
- montážní linky,
- stacionární stavebné jednotky

7.2. Robotická montáž

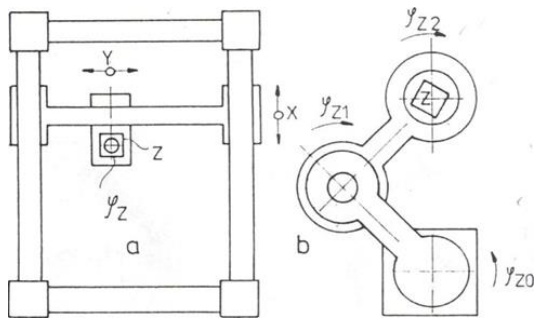
Roboty všeobecně považujeme za volně programovatelné zařízení. Má tři a víc stupňů volnosti. Tyto jsou konstruované v jednom zařízení.

- Portálový robot pracuje ve třech kartézských souřadnicích.
- Robot s pravoúhlým pracovním prostorem
- V sporu o tom, která z uvedených struktur je pro montáž výhodnější, se uvádějí tyto argumenty (Valentovič, 2001):
- Sloup v systému SCARA brání v přístupnosti k montovanému výrobku ze strany sloupu
- Paleta se součástkami i montovaný výrobek jsou kótované v kartézském systému, programování kartézského robota nevyžaduje přepočty.
- Přesnost polohování při „vystřené“ robotu SCARA je menší jako při „zabal-eném“, přesnost kartézského robota je přibližně stejná v celém pracovním poli.
- Všeobecně jsou rotační dvojice robotů SCARA jednodušší, lačnější a méně hmotné jako lineární dvojice kartézských robotů, při kterých hlavně portálový suport při jeho vyšším rozpětí představuje značný problém z hlediska minimalizace hmotnosti a chyb v přesnosti.

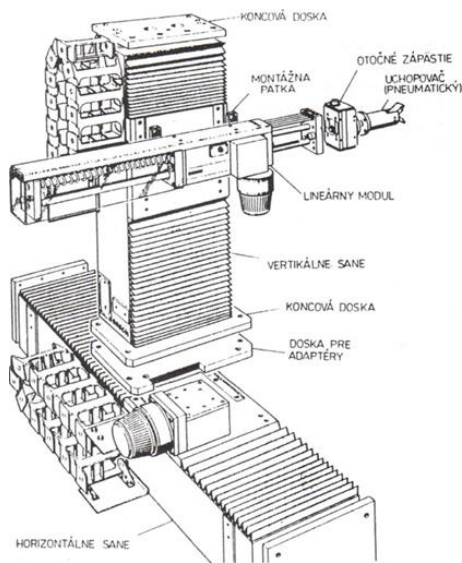
První prototyp robota SCARA



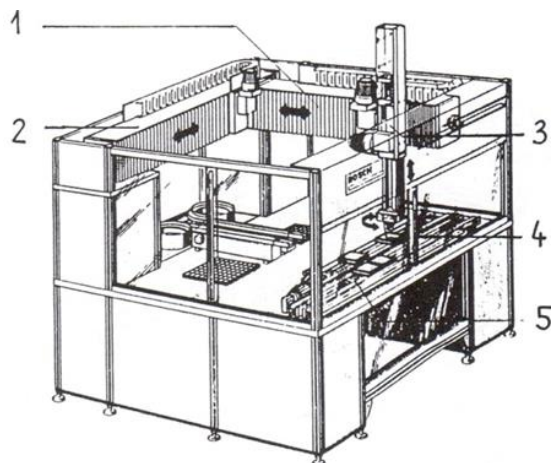
Montážní roboty



Robot s pravoúhlým prostorem (BOSCH)



Robotické centrum (BOSCH) s vibračním podávačem součástek a s dopravníkem unášěčem



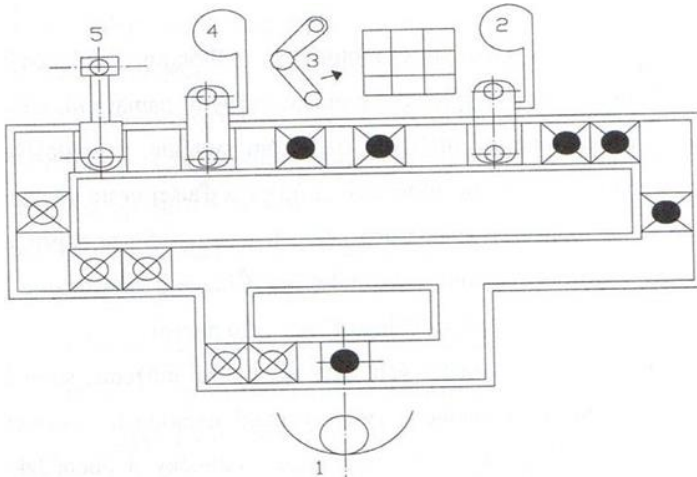
7.3. Architektura robotické montážní techniky

- Montážní pracoviště s jedním univerzálním robotem
- Robot jako stanice synchronní anebo asynchronní linky
- Pracoviště jako mini linka s dvěma roboti
- Flexibilní montážní linka s cirkulujícími nosiči
- Montážní linka SMASH
- Jedno technologické robotické systémy

Automatické montážní systémy

- Asynchronní stroje složené z automatických montážních linek vznikají tam, kde můžeme automatizovat činnosti.
- Asynchronní linky - výrobky se mohou pohybovat v lince bez unášedce tj., že má rovnou základnu pro unášení. Základní část plní funkci i unášedce.

Schéma linky asynchronních montážních systémů



Alternativní je i práce člověka (1), roboty (3), montážní stanice (2), vykládací manipulátory (5)

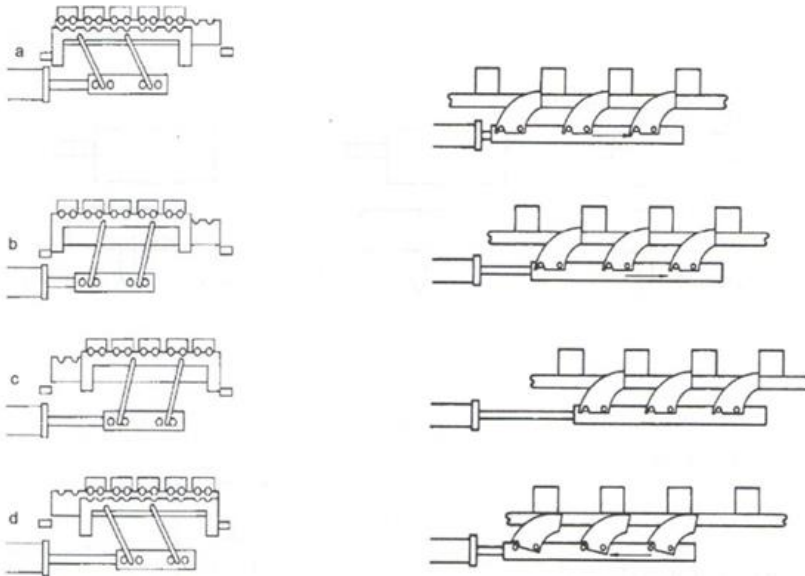
Synchronní montážní stroje jsou stavěné jako více stanicové stroje, obyčejné automaty, pro které platí:

- mezi dopravním médiem a technologickým nosičem je pevná vazba, nosič s upínačem částečně zmontovaného výrobku se pohybuje současně s médiem,
- všechny nosiče připravené na dopravním médiu se pohybují synchronně. Synchronnost je paralelnost v čase, současnost,
- všechny pracovní stanice pracují synchronně. Do pracovního cyklu vystartují jejich pracovní orgány současně a po jeho skončení se vracejí do východiskové polohy. Čas cyklu jednotlivých pracovních stanic je stejný, ale částečné cykly vnitř celkového cyklu nemusí být stejné, návrat pracovních orgánů do východiskové polohy už nemusí být současný,
- v synchronních strojích se pravidelně střídá současná práce na všech pracovních stanicích se současným přesunem montovaných výrobků z každé předchozí na následovní pracovní stanici.

Klasifikace synchronních strojů na:

- přímočaré, vrtané přímočarých částí uzavřených okruhů, přímočarých částí stro-movitých okruhů,
- kruhové, vrtané uzavřených obvodů, nejenom kruhového, ale i jakéhokoli, např.. oválného, mnohoúhelníkového, nejčastěji čtyřúhelníkového tvaru

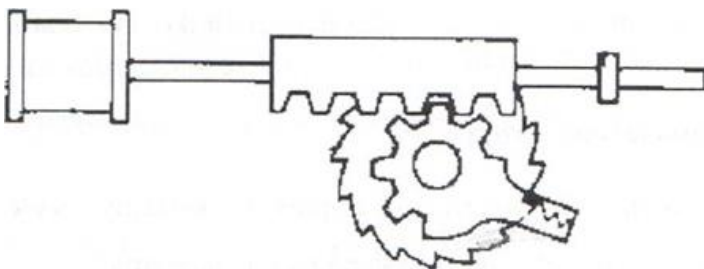
Přepojení pohonů na mechanismy



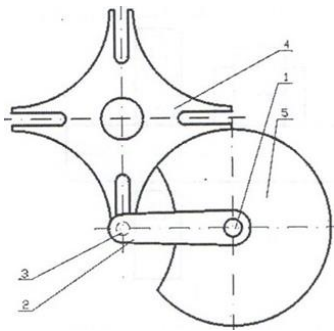
Přenášecí tyč

Tyč se západkami

Tyč s ozubeným hřebenem



Klasický maltézský mechanizmus

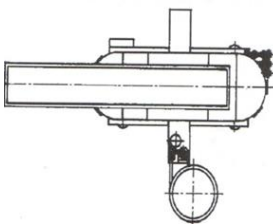
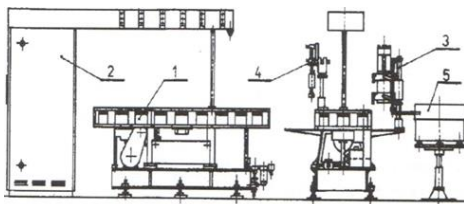


Technologické systémy synchronních automatů se rozdělují zpravidla na:

- stroje s centrálním pohonem jednotek
- stroje s individuálním pohonem jednotek

Přímočarý synchronní automat

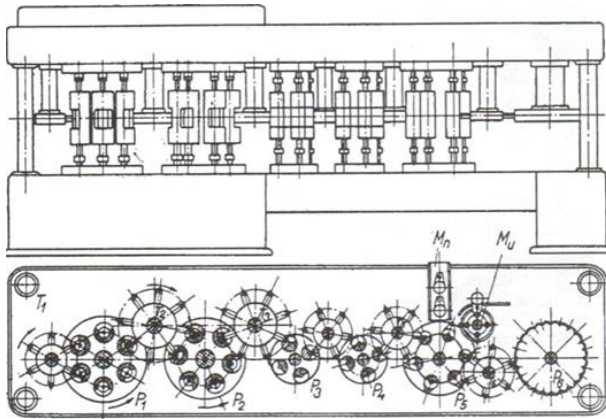
1-dopravní mezioperační jednotka pro MPAX 10, 2-řídící jednotka, 3-technologické jednotky, 4-kontrolní jednotky, 5-zásobníky



Kontinuální stroje

- montážní zařízení pro finální montáž automobilů
- rotorové montážní stroje

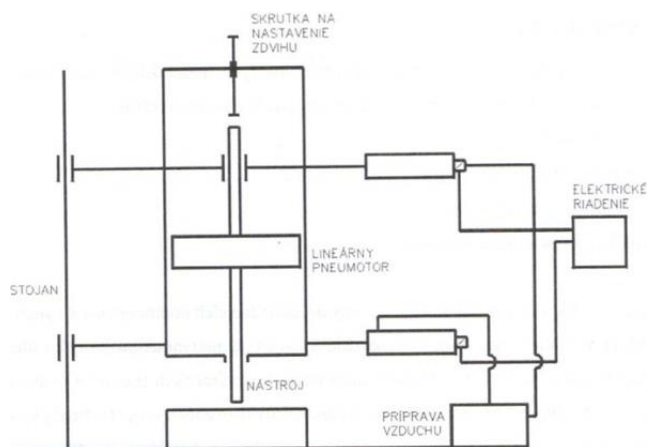
Základní jednotka rotorového stroje s pracovními P a dopravními D rotory



7.4. Spájecí zařízení

Montážní lisy – využíváme na zhotovení tvárněných a nalisovaných spojů a na všeobecné lisování a tvárnění. Nejčastěji používané mechanismy v montážních lisích jsou hydraulické, pneumatické, pneumaticko-hydraulické, pneumaticko-mechanické a mechanické s odvalováním nástroje.

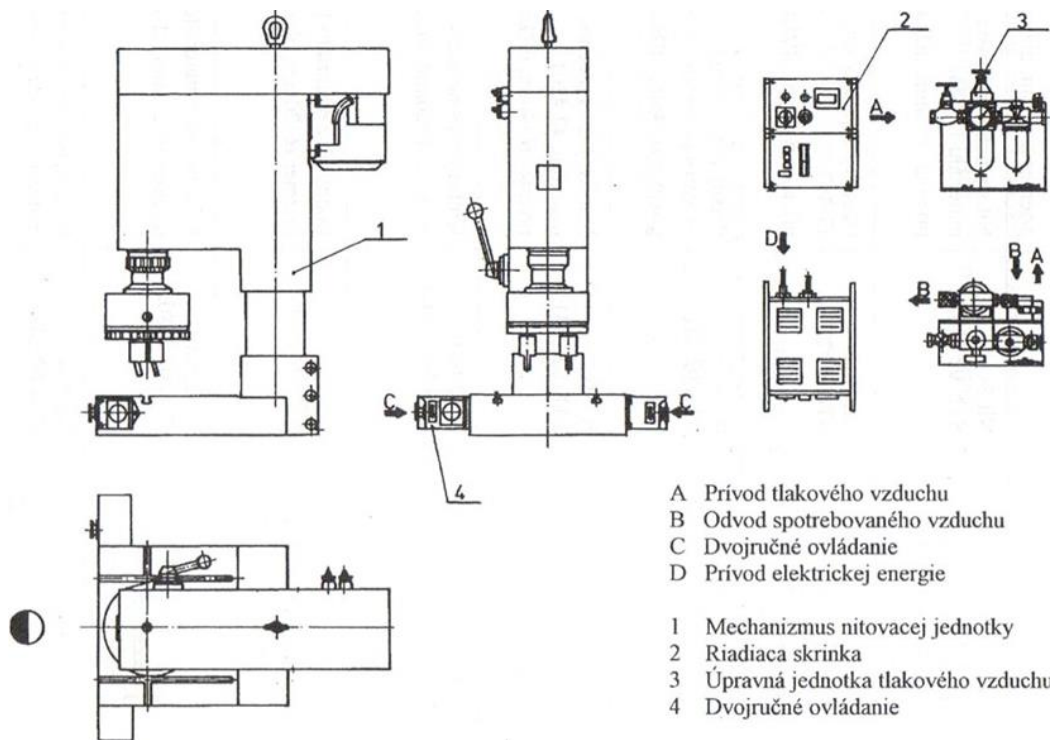
Pneumatický montážní list



Nýtovací zařízení – slouží na vytvoření nerozebíratelného nýtového spoje.

Nýty můžeme rozdělit:

- podle vzájemné polohy na jedno a dvojstranné
- podle druhu nýtů s dutým dříkem, plným dříkem a speciální
- podle konstrukční úpravy na přímé a nepřímé

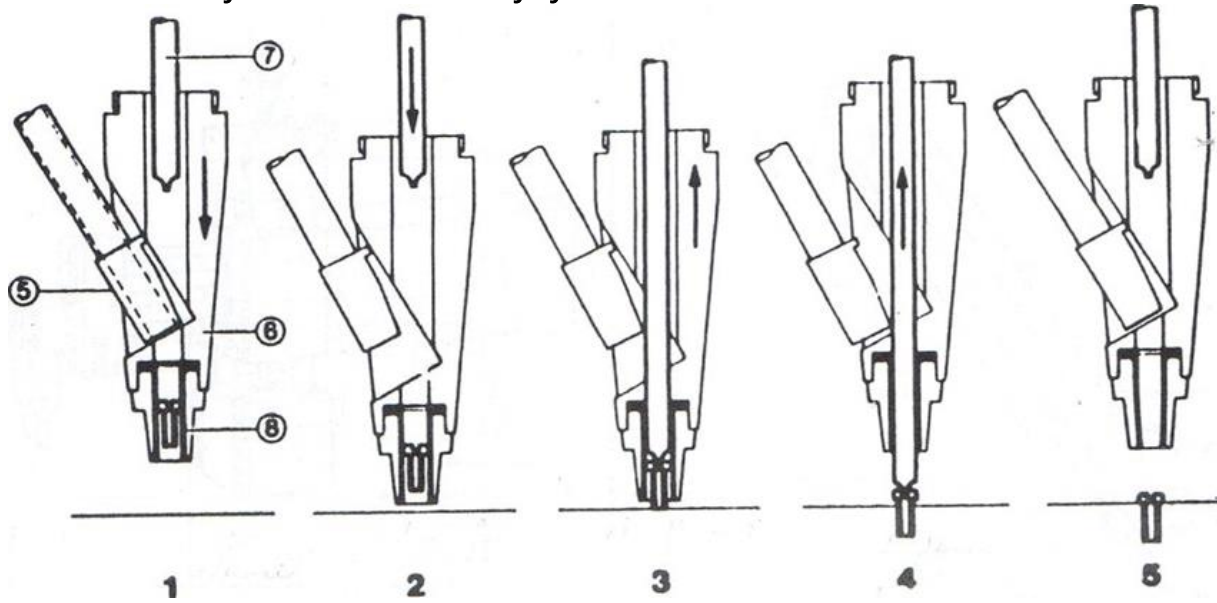


šroubovací zařízení – šroubové spoje jsou rozebíratelné montážní spoje. Základem je šroub a dále matice podložky různých typů.

Šrouby a matice klasifikujeme na šrouby připevňovací, spojovací, hnací, pohybové a šrouby speciální (nastavovací, rozpěrací a pod.). Závity jsou pravé a levé. Nejčastěji se používají pravé závity.

Při montáži se používají šroubovací zařízení, mezi které řadíme technické prostředky na ruční šroubování, skrutkovače, momentové skrutkovače, montážní klíče, momentové klíče a motorické ruční skrutkovačky.

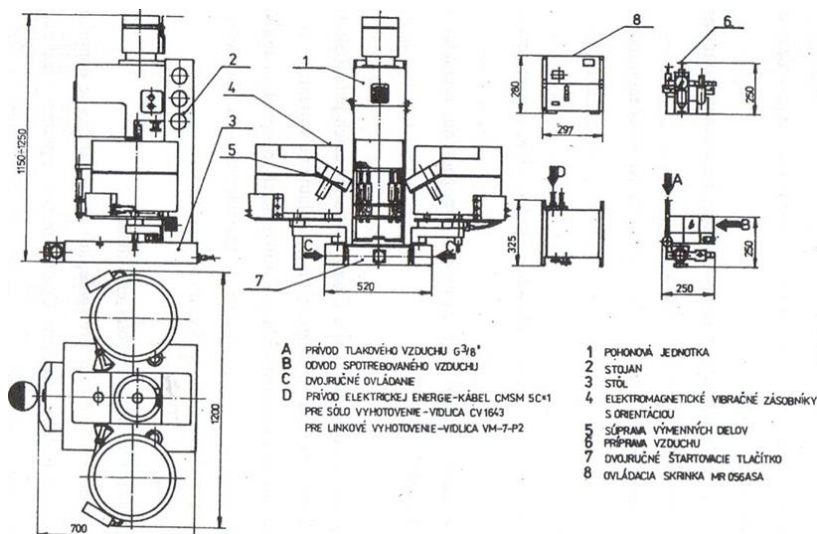
Šroubování malých šroubů – rourkový systém – firma WEBER



Při šroubování je zachovaný následující postup:

- 1 – hlavice k výrobku – šroub vpadne do hlavice 2 – nástroj k výrobku
 3 – šroubování 4 – hlavice nahoru – nezašroubovány šroub je vytlačen z hlavice
 5 – nástroj nahoru

Šroubovací jednotka



7.5. Opravy techniky, strojů a zařízení

Současná kvalitativně nová technika, stroje a zařízení nám umožňují s použitím diagnostických prostředků poměrně rychle zjistit poruchu a zabezpečit její odstranění. Poruchu je možné odstranit opravou stávajících součástí, výměnou těchto součástí anebo výměnou celých skupin anebo podskupin projevujících poruchu.

Příčiny poruch podle potřeby můžeme rozdělit na vnitřní a vnější.

- Vnitřní příčiny vzniku poruch jsou způsobované nevhodnými tvary, vlastnostmi a odolnostmi materiálu, techniky, strojů a zařízení.
- Vznik vnitřních poruch:
 - Konstrukční – materiál (složení, vlastnosti), pracovní režim (chlazení, mazání), povrchová ochrana, kontrolní místa (diagnostika)
 - stárnutí
 - technologické – záměna materiálu, kvalita materiálu (vady), nedodržená technologie, nedodržený pracovní režim

Vznik vnějších poruch

- Opotřebení – abrazivní, adhezní, erozivní, kavitační, únavové, vibrační, vypálení
- nadměrné zatížení – neznalost technických podmínek, nedbalost při plnění technických podmínek výrobce
- mechanické poškození – nárazy, pády, havárie, nedodržení podmínek montáže, údržby a oprav
- zásahy elektrickým proudem – elektrický srkat, zásah blesku, neodborná manipulace
- požáre – následek některých poruch, (nadměrné tření brzd, nárazy, havárie, dopravné nehody)
- koroze – atmosférická, biologická, chemická, elektrochemická

STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ 1

1. Technologické postupy

Vyhotovení součástí a jejich montování do celků probíhá určitými činnostmi. Tyto činnosti nazýváme výrobní proces. Výrobní proces je nutné organizovat, plánovat, řídit, realizovat a kontrolovat. Výrobní proces má tři fáze: přípravnou, realizační a kontrolní. Ve výrobním procesu je nutné účelně stanovit pořadí jednotlivých činností.

Stanovení jednotlivých činností pro výrobu a montáž součástí nazýváme výrobní postup. Jestli je ve výrobním procesu zahrnutá činnost pracovníka v průběhu výrobního procesu, nazýváme tento předpis pracovním postupem.

Pro vypracování technologických i pracovních postupů musí mít technolog následující podklady (Janáč, A. a kol., 1994):

- výrobní výkresy součástí, výkresy sestav, podsestav a celých strojů,
- údaje o počte obráběných kusů výrobků, včetně náhradních dílů,
- údaje o základních fondech dílny,
- údaje o výrobním nářadí dílny,
- údaje o celkové organizaci dílny, provozu, podniku,
- údaje o možnostech kooperačních vztahů s jinými dílnami, závody, podniky,
- normy a normativy (ISO, STN, ČSN, EN, oborové, podnikové) a technickými podmínkami výrobku,
- specifické požadavky objednatele.

Výrobní postup, jako základní předpis pro výrobní proces, musí splňovat tyto požadavky (Janáč, A. a kol., 1994):

- Určit výchozí materiál nebo polovýrobek co do jeho rozměrů a vlastností s ohledem na hospodárnost.
- Určit jednotlivé operace a jejich správný sled.
- Určit technologické základní ustanovení výrobku.
- Určit a předepsat operace technické kontroly před důležitými technologickými operacemi i konečnou operaci.
- Určit univerzální, speciální i jednoúčelové stroje. Jednoúčelové stroje se v předstihu musí nechat konstruovat a vyrobit.
- Určit speciální i komunální nástroje a měřidla.
- Určit speciální i jednoúčelové přípravky. Speciální přípravky musí v předstihu obstarat, jednoúčelové přípravky se musí v předstihu zkonstruovat a vyrobit.
- Stanovit optimální technologické podmínky, údaje o tepelném zpracování, povrchových úpravách.

- Určit a předepsat pomocné operace.
- Neporušit technologický a pracovní postup BOZP.
- Dbát, aby výrobní postup nebyl v rozporu s ekologickým aspektem.
- Dát podklady pro technicko-ekonomické ukazovatele.

1.1. Požadavky na technologický postup

- Splnění funkčních požadavek daných specifikaci, technickým výkresem a normami
- Výroba součástky s minimální pracností a minimálními náklady na výrobu
- Maximálně využití kapacity navrhovaného výrobního zařízení
- Dodržení bezpečnosti práce technologickým a pracovním postupem
- Respektování ekologických aspektů

Přístupy návrhu TD

Vyhotovení technologické dokumentace:

- Člověkem – technologem bez využití PC techniky
- Počítačovou podporou
- PC podpora návrhu TD:
- Princip skupinové technologie (variantní přístup)

Editace už vyhotoveného technologického postupu pro součástku s podobnými vlastnostmi

- Exaktní princip (generativní přístup)

Matematické modelování a generování vždy nového techn. postupu bez ohledu na podobnost

Podle použitého druhu výroby dělíme technologické postupy na:

- rámcový (i pracovní) technologický postup (malosériová a kusová výroba) – obsahuje jen seznam operací bez dalšího členění
- podrobný (nebo pracovní) technologický postup (sériová a hromadná výroba) – obsahuje všech 12 náležitostí uvedených výše. Postup musí být podrobný, protože to vyrábějí pracovníci s nejnižším platovým zařazením.

Manuální přístup návrhu TD

Využití katalogů nástrojů, přípravků, měřidel, různých tabulek, diagramů, nomogramů na

určení řezných podmínek

Technolog zpracovává:

- Informace o součástce
- Informace o strojním zařízení a pomocném vybavení
- Informace o výrobních možnostech (technologické metody, tepelné zpracování, upínání)
- Na základě poznatků, znalostí a zkušeností technologa
- Techn. postupy pro podobnou součástku se mohou odlišovat pořadím operací, použitými výrobními zařízeními, ale i řeznými parametry
- Malé firmy s malým sortimentem vyráběných součástek.

PC podpora návrhu TD

Optimalizace činností

- Urychlení návrhového procesu
- Objektivizovat a flexibilním způsobem reagovat na měnící se požadavky zákazníka a na měnící se podmínky ve výrobě
- CAPP (Computer Aided Process Planning)
- PC podpora následovných oblastí:
- Součástkové rozborů – analýza výrobního profilu
- Technická příprava výroby výrobních pomůcek
- Zpracování databáze v předvýrobních etapách
- Archivaci digitalizované technologické dokumentace
- Zastavování, editace a modifikování textů v technologických postupech
- Výpočet řezných parametrů

Výhody:

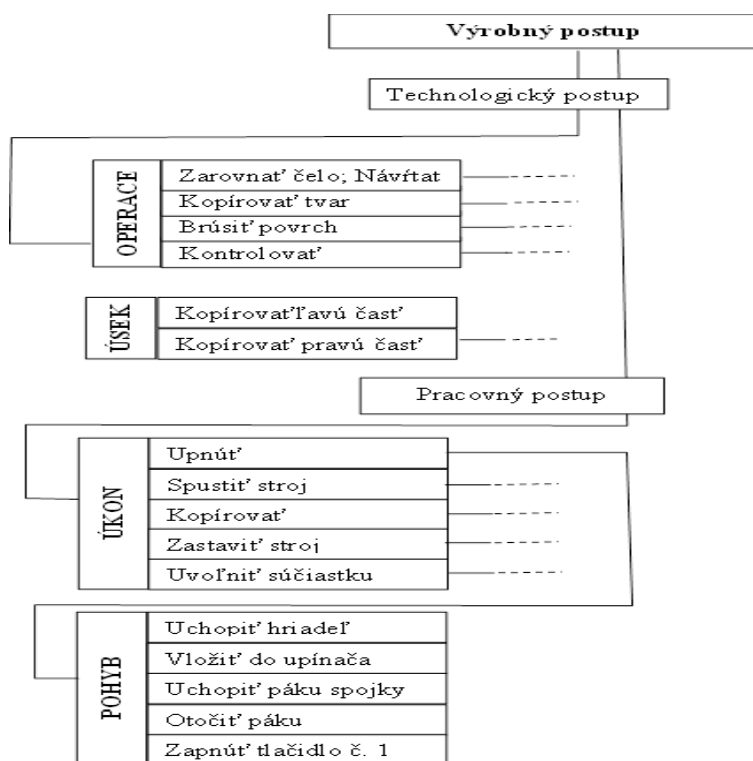
- Vyšší produktivita technologů
- Racionalizace návrhu TD
- Větší srozumitelnost TD
- Standardizace TD
- Objektivizace technologického postupu
- Optimalizace TD
- Zkrácení průběžných časů na návrh TD
- Redukce zaváděcího času
- Integrace s aplikačními programy a systémy
- Větší flexibilita na změnu vyráběného sortimentu
- Větší flexibilita na změnu požadavek zákazníka

Ekonomické výhody:

- Zvýšení využití kapacity existujících strojních zařízení,

- Redukce nástrojů, přípravků a pomůcek
- Redukce špatných výrobků
- Redukce dílenských nákladů
- Redukce pracnosti
- Lepší využívání materiálu

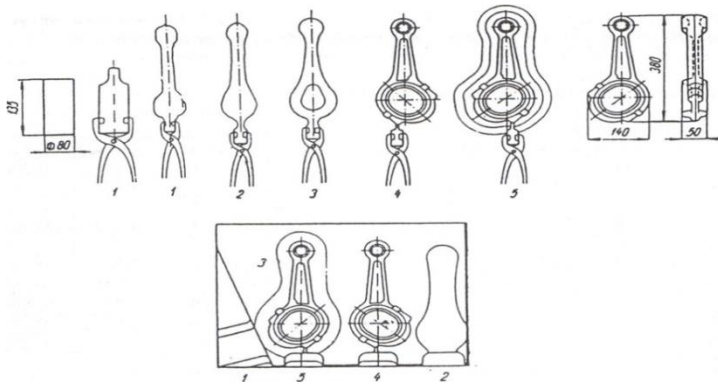
1.2. Členění technologického postupu



Technologické postupy pro zápusťkové kování

Pro výrobu výkovku technologický postup zohledňuje ekonomicky a technicky nejlepší postup výroby. Tento postup zohledňuje postup základních prací, operací, úseků, úkonů a pohybů potřebných na výrobu výkovku. Dále musíme zohlednit další údaje pro normování a výrobu. Jedná se o údaje týkající se materiálu, polotovaru, strojů, nástrojů, přípravků, nářadí atd.

Obrázkový technologický postup kování ojnice na bucharu

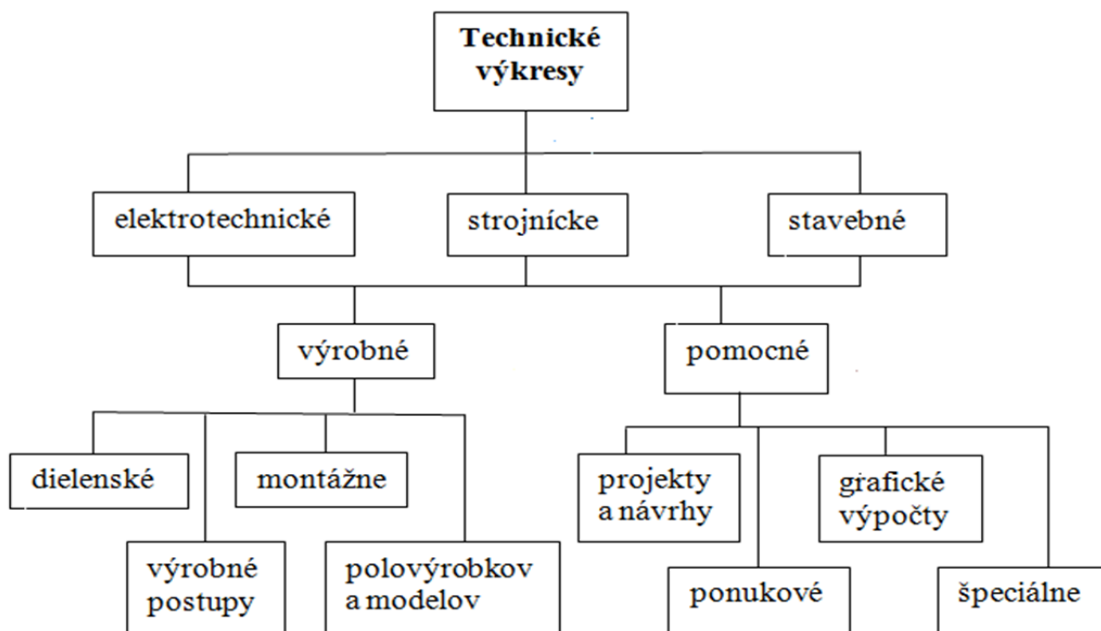


1.3. Technologická dokumentace

Technický výkres:

- Základní složka grafické dokumentace
- Vyhotovení podle platných techn. norem
- Použití v elektrotechnice, strojírenství, stavebnictví

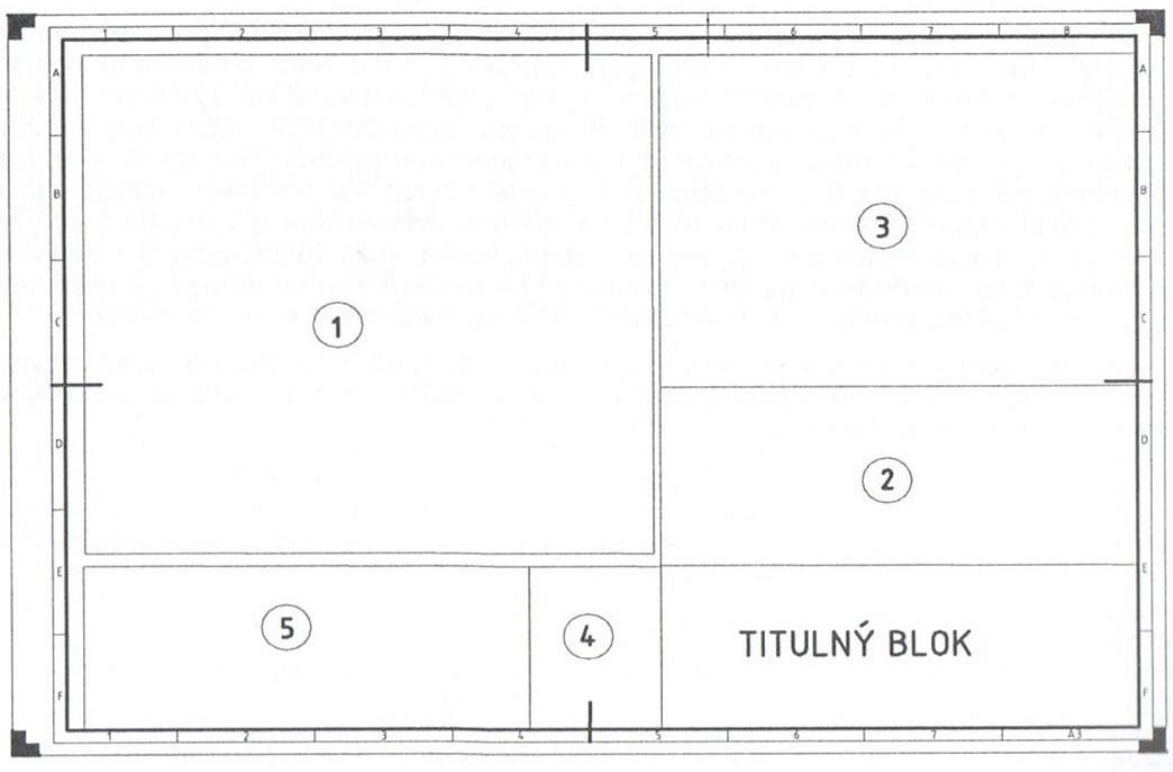
Rozdělení technických výkresů



Formáty výkresů:

Označenie formátu hlavné	Formát výkresu (orezaná kópia)	Orezaný originál (matrica, rematrica)	Výkresový list (najmenší dovolený rozmer)
A0	841 x 1189	851 x 1199	857 x 1205
A1	594 x 841	604 x 851	610 x 857
A2	420 x 594	430 x 604	436 x 610
A3	297 x 420	307 x 430	313 x 436
A4	210 x 297	220 x 307	226 x 313

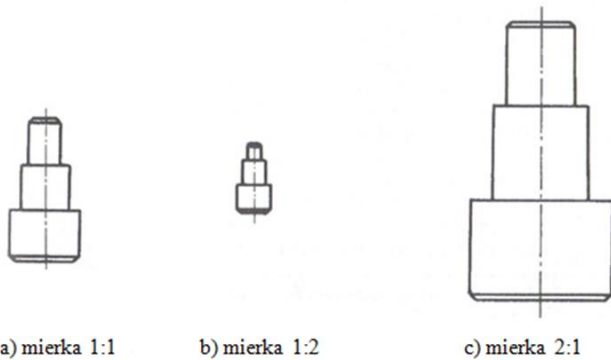
Uspořádání plochy výkresového listu



Měřítko:

Určené poměrem délkového prvku předmětu zobrazeného na výkresu ke skutečnému délkovému rozměru toho samého prvku předmětu






1. měřítko pro skutečnou velikost - 1:1
2. měřítko pro zvětšení - 2:1
3. měřítko pro zmenšení - 1:2



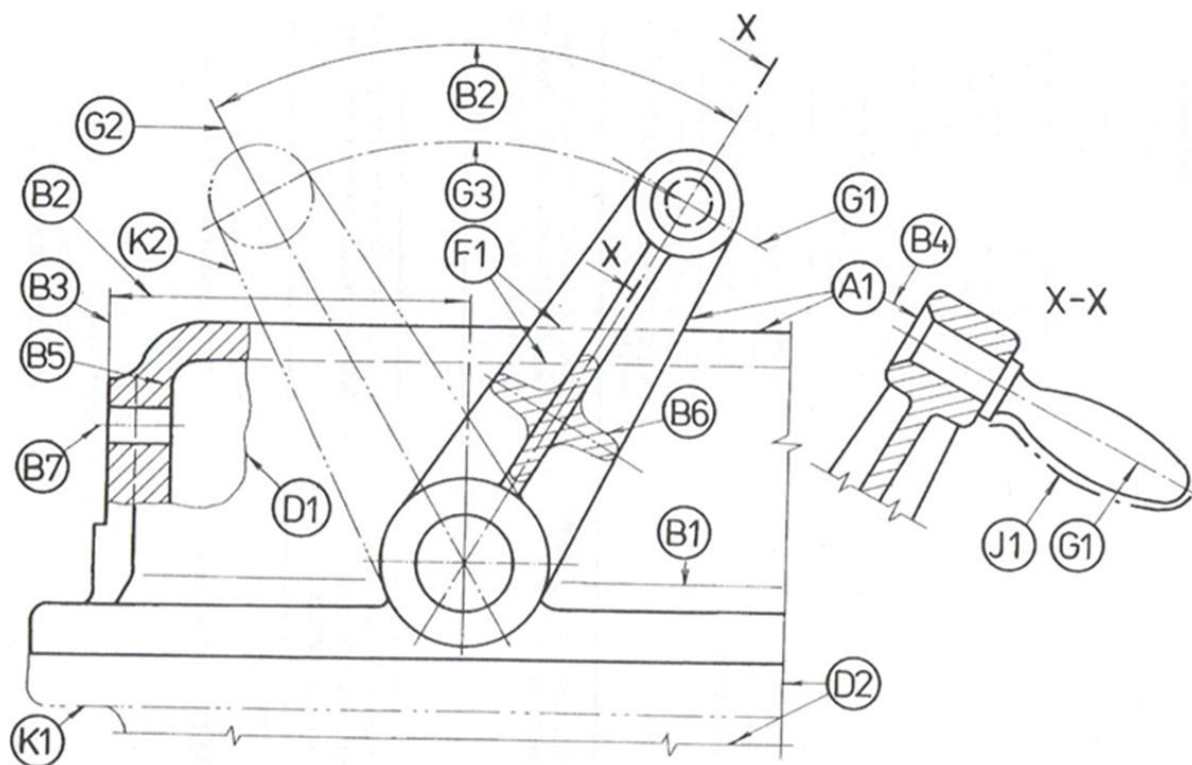
Mierka strojníckych výkresov			
Skutočná veľkosť	Mierka zväčšenia	Mierka zmenšenia	
1 : 1	2 : 1	1 : 2	1 : 200
	5 : 1	1 : 5	1 : 500
	10 : 1	1 : 10	1 : 1000
	20 : 1	1 : 50	1 : 5000
	50 : 1	1 : 100	1 : 10000

Typy čiar na technických výkresoch:

číslo	zobrazenie	popis
01.1	Súvislá tenká čiara 	Používa sa na kreslenie: -pomocných kótovacích čiar, kótovacích čiar -odkazových čiar, šrafovaní -ohraničenia podrobností -čiar sietí
	Súvislá tenká čiara kreslená od ruky 	Používa sa na: -prednostne na ručné zobrazenie ohraničenia prerušovaných alebo čiastočných pohľadov -na zobrazenie rezov a prierezov, ak to nie je os súmernosti
	Súvislá tenká čiara so zalomením 	Používa sa na: -zobrazenie ohraničenia čiastočných alebo prerušovaných pohľadov -zobrazenie rezov a prierezov, ak ohraňčením nie je os súmernosti

01.2	Súvislá hrubá čiara 	Používa sa na kreslenie: -viditeľné obrisy a hrany, -čiar chrbtov závitov s plnou hrúbkou profilu -zobrazenie grafov, diagramov -zobrazenia osových dĺžok priečkovej konštrukcie
02.1	Čiarkovaná tenká čiara 	Používa sa na: -zakrytie hrán a obrysov
02.2	Čiarkovaná hrubá čiara 	Používa sa na: -označenie úpravy povrchu
04.1	Čiara tenká s dlhou čiarou a bodkou 	Používa sa na: -osi, čiary na označenie súmernosti -rozstupová čiara ozubení -rozstupová čiara dier
04.2	Čiara hrubá s dlhou čiarou a bodkou 	Používa sa na: -označenie rovín rezu -deliacich rovín v obrazoch rezov
05.1	Tenká čiara s dlhou čiarkou a dvoma bodkami 	Používa sa na kreslenie: -označenie susediacich súčiastok -ťažiskové osi -posunuté tolerančné pole

Praktické příklady použití:



Základné typy čiar	Hrúbka čiar	Používanie a označenie čiar
01 súvislá	hrubá	viditeľné obrysy a hrany A1
	tenká	neurčené hrany B1, pomocné a kótovacie čiarly B2 až B4, vyznačenie materiálu súčiastky v reze B5, obrysy vykreslených prierezov B6, krátka os B7
01 súvislá od ruky	tenká	prerušenie obrazu D1
01 súvislá zo zalomením	tenká	prerušenie obrazu D2
02 čiarkovaná	tenká/hrubá	zakryté obrazy a hrany F1
04, 08, 10 čiara s dlhou čiarkou a bodkou	hrubá	vyznačenie vynášaných častí alebo plôch J1
	tenká	os rotácie G1, os súmernosti a stopy rovín súmernosti G2, trajektórie G3 a stopy rovín rezov
05, 09, 12 čiara s dlhou čiarkou a dvoma bodkami	tenká	obrysy susedných predmetov K1, krajné polohy pohyblivých častí K2, ťažnice, východzie alebo konečné obrysy

Požadavky na výrobní výkres:

- Výroba co nejmenšího počtu
- Uspořádaní – hlavní sestava, sestavy, podsestavy, výkresy součástek
- Titulní blok (popisové pole)
- Soupis položek (kusovník)

Titulní blok:

POL.	NÁZOV	ČAP	Č.VÝKRESU	Č. NORMY	MATERIÁL	J.	MNOŽ.	HMOTN(kg)
VYPRACOVAL:		PUKANCOVÁ	SYMBOL	ZMENA			DÁTUM	PODPIS
KONTROLOVAL:		BENCZY						
MATERIÁL	DÁTUM VYHOTOVENIA							
11 600		15.3.2010	STREDNÁ ODBORNÁ ŠKOLA AUTOMOBILOVÁ COBURGOVA 7859/39, 917 02 TRNAVA					
ROZMER, POLOTOVAR, NORMA			KR 55x70					
HODNOTENIE STAVU POVRCHU		VŠEOB.TOLERANCIE	NÁZOV ČAP					
METÓDA ZOBRAZOVANIA		MIERKA	ČÍSLO VÝKRESU					LIST CISLO:
		1:1	10-01					
								1

Soupis položek:

185							8,5
POZ.	NÁZOV - ROZMERY	VÝKRES - NORMA	MATER.	J.	MN.	kg	

Výkresy součástek:

- Samostatný výkres pro každou součástku
- Vhodné zobrazení a tvar součástky
- Kótování součástky
- Drsnost a úprava povrchu
- Tepelné zpracování
- Tolerance rozměrů a geometrických tvarů
- Technické požadavky v popisovém poli
- Tabulka údajů u výkresů ozubených koles
- Popisové pole včetně rozměrů polotovaru, druhu materiálu, údaje pro kontrolu, výrobu a zkoušení materiálu

Výkresy polotovarů:

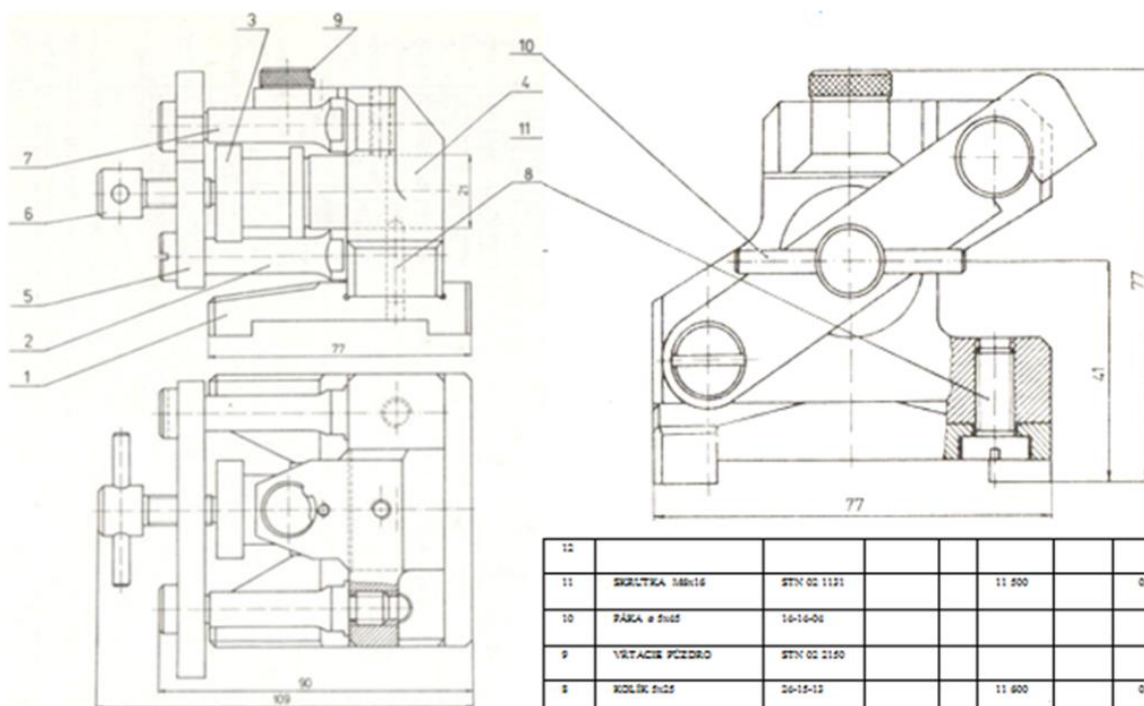
- Druh materiálu
- Vlastnosti a jakost materiálu
- Prvotní stav materiálu – ve formě polotovaru
- Číslo příslušné normy

Výkresy odlitek:

- Údaje pro vyhotovení postupového výkresu modelu a pro práci v modelárně a slévárně
- Technologická správnost při odlévání
- Správně navržený materiál
- Jednoduchá kontrolovatelnost rozměrů a jednoduchá obrobiteľnosť
- Požadovaný stupeň přesnosti (nad popisovým polem)
- Konstrukční a technologické zaoblení
- Připojení stěn, díry v odlitcích

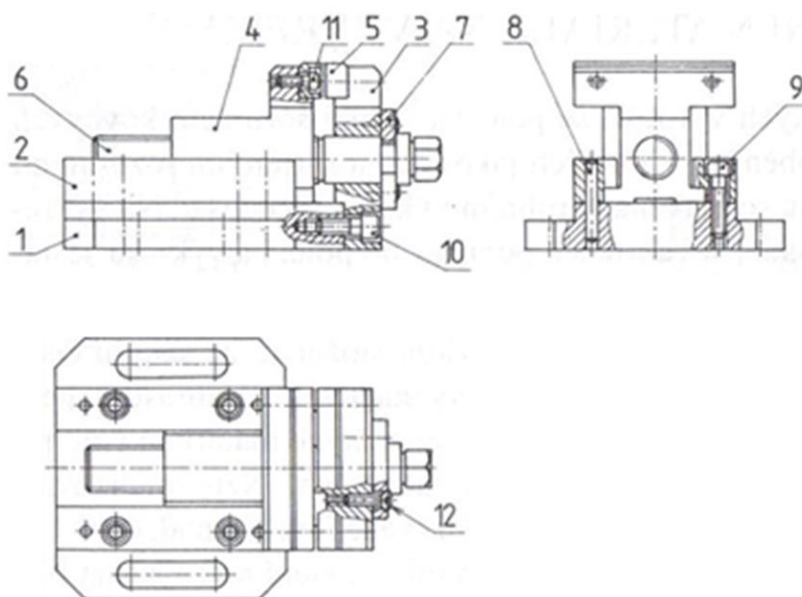
Výkresy sestav:

- Zobrazení montážní jednotky ve smontovaném stavu
- Kótování hlavních rozměrů
- Pozice součástek montážní jednotky
- Údaje o lepených, pájkovaných a jiných spojích



12							
11	SKRUTKA M8x16	STN 02 1121			11 600		0,28
10	PÁKA s špič	16-16-06					
9	VSTACÍ PÍZDRO	STN 02 2150					
8	KOLEK s špič	20-15-13			11 600		0,09
7	SKRUTKA M10x8	28-22-16					
6	POHYBOVÁ SKRUTKA	12-08-08					
5	DOŠKA s špič	16-05-26					
4	TRKESO	11-22-47					
3	VSTĚNO	17-20-60					
2	SKRUTKA M10x2	12-12-15					
1	ZÁKL. PLOŠTĚKOVNÍK	11-17-06				1	
Pos	NAZOV-ROZMĚR	C. VÝK- Č. NDR	MATER	Z	MATER	SKT	SKROT

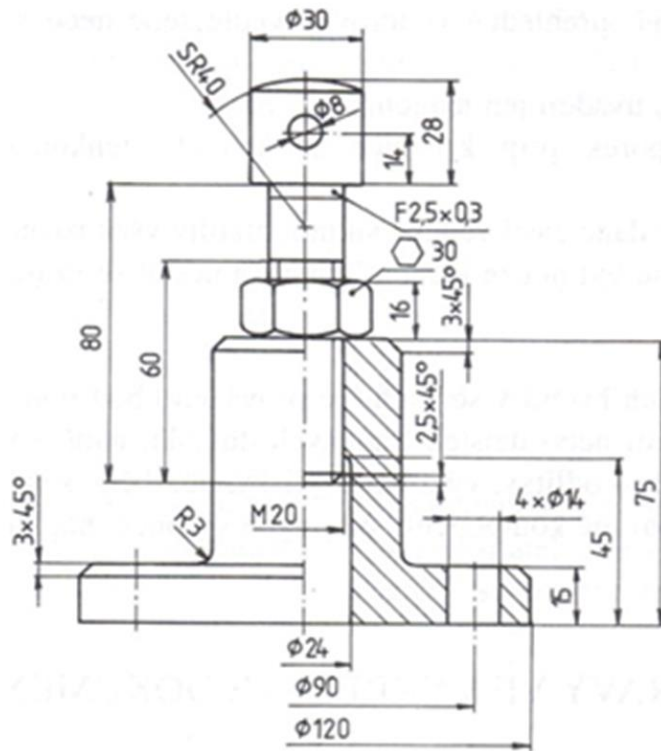
Popisové pole



Poz	NAZOV-ROZMER	POLOTOVAR	POZNAMKA	MNOŽ JEDN
	Č.VÝK-Č.NORMY	MATER		
1	ZAKLADNÁ DOSKA A4-TK-09.02-01-1.C	STN 45 6522 13 373.0		
2	VODIACA LIŠTA A4-TK-09.02-02-1.C	STN 45 5520 11 500.0		
3	PRITLAČNÁ DOSKA A4-TK-09.02-03-1.C	STN 42 5520 11 343.0		
4	POSUNOVAC A4-TK-09.02-04-1.C	STN 42 5522 11 343.0		
5	UPÍNACIA ČELUST A4-TK-09.02-05-1.C	STN 42 5510 11 500.0		
6	VRETENO A4-TK-09.02-06-1.C	STN 42 5522 11 343.0		
7	ZAMOK VRETENA A4-TK-09.02-07-1.C	STN 42 5520 11 343.0		
8	VALCOVÝ KOLIK ISO 2338- A4-m6x28 A4-TK-09.02-08-1.C	STN EN 22 338		
9	SKRUTKA A M5x20 A4-TK-09.02-09-1.C	STN 11 043		
10	SKRUTKA A M6x20 A4-TK-09.02-10-1.C	STN 11 043		
11	SKRUTKA A M6x10 A4-TK-09.02-11-1.C	STN 11 043		
12	SKRUTKA M4x12 A4-TK-09.02-12-1.C	STN EN ISO 2010		

Popisové pole

Zverák (súpis položiek)

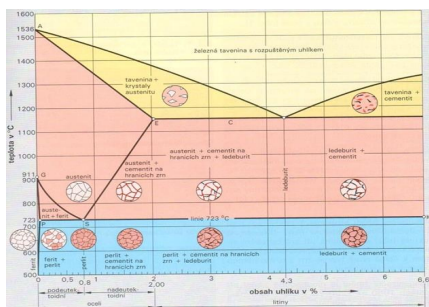


2. Tepelné zpracování

Technologické postupy tepelného zpracování kovů, používané v technické praxi můžeme rozdělit do čtyř základních skupin:

- Postupy, při kterých získáváme v porovnání s výchozím stavem rovnovážnější struktury. Používají se s různými konkrétními cíli při všech kovových materiálech. Tyto postupy označujeme souhrnným názvem žíhání.
- Postupy, při kterých vytváříme struktury o určitém stupni nerovnováhy. Co se týče ocelí, tyto postupy se skládají z kalení a popouštění. U hliníkových litin (příp. dalších slitinách neželezných kovů) se používá postup nazývaný vytvrzování.
- Postupy, při kterých dochází kromě strukturálních změn i k změnám chemického složení povrchových vrstev materiálu t. j. chemicko – tepelné zpracování.
- Postupy, při kterých se dosahuje požadovaná změna vlastností kombinací intenzivního tvárnění a tepelného zpracování, t. j. termomechanické zpracování. (Skočovský, P. a kol., 2006)

Diagram slitin železa s uhlíkem a oblasti struktur materiálu s různým obsahem C



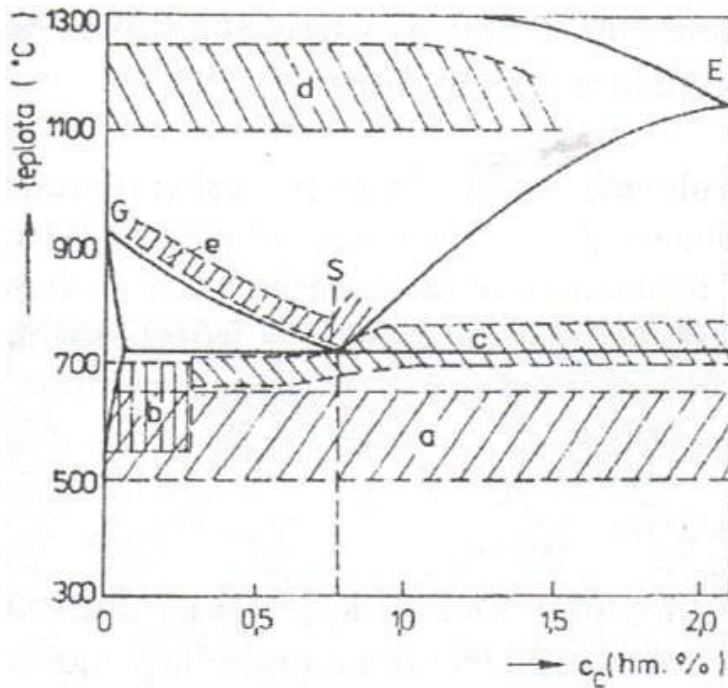
2.1. Žihání

Žihání je způsob tepelného zpracování. Tímto způsobem chceme u součástky dosáhnout zpravidla rovnovážného stavu. Podstatou žihání je rovnoměrný ohřev součástky na žihací teplotu, výdrž (setrvání) na této teplotě po určitou dobu a následně nastupuje zpravidla pomalé ochlazování.

Přehled způsobů žihání ocelí

	Způsob žihání	Žihací teplota[°C]	Označení první doplňkovou číslici za značkou ocele
Bez překrytalizace	-naměkko -rekrytalizační -proti vločkové	680 – 720°C 550 - 700°C 650 – 700°C	1X XXX.3 - -
	- Na odstranění křehkosti - Na odstranění vnitřních napětí	200 – 300°C 500 – 650°C	- -
S překrytalizací	-normalizační -homogenizační -izotermické	750 – 900°C 1000 – 1200°C 600 – 750°C	1X XXX.1 - -

Oblasti žíhacích teplot v rovnovážném diagramu

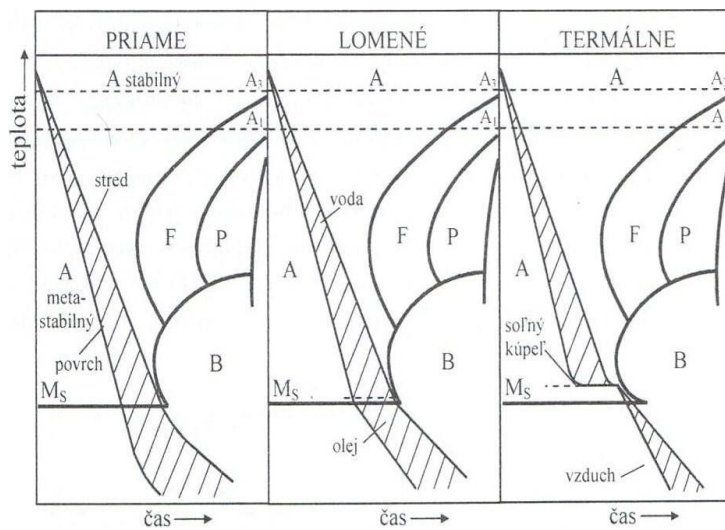


2.2. Kalení a popouštění

Kalitelnost je schopnost ocele dosáhnout vyšší tvrdost. Kalení je ohřev oceli na překryštalizační teplotu, výdrž na této teplotě a následné ochlazení rychlostí vyšší než je nejnižší kritická rychlost ochlazování. Nejvyužívanější a ekonomicky nejvýhodnější kalicí prostředí je vzduch.

Cílem kalení je dosáhnout jiný stav než je rovnovážný stav.

Druhy kalení



- Přímé kalení – ochlazujeme z teploty austenitizace. Při uhlíkových ocelích zpravidla ve vodě, při drobných součástkách v oceli.
- Lomené kalení – austenitizované součástky, které se normálně kalí do vody, jsou ochlazované v dvou prostředích.
- Termální kalení - součástka se ochlazuje větší rychlostí jako je kritická v prostředí s teplotou nad M_s příslušné oceli, při které setrvávají po čas potřebný na vyrovnání teplot v celém průřezu.
- Popouštění je ohřev zakalené ocele s martenzitickou strukturou na teploty A_1 za účelem vytvoření struktur bližších se k rovnovážným. Z technologického hlediska rozdělujeme popouštění na popouštění při nízkých teplotách (do 300°C) a při vysokých teplotách (nad 400°C).

2.3. Chemicko-tepelné zpracování

Postupy difúzního nasycování povrchu součástek některými prvky zahrnuje chemicko-tepelné zpracování. Cílem chemicko-tepelného zpracování je vyvolat změny mechanických, chemických a fyzikálních vlastností prvků. Rozumíme tímto zpracováním způsoby difúzního sycení povrchu ocelí různými prvky jako Al, B, C, N, C+N, Si a jiné. Jedná se i o kovy i o nekovy.

Podle toho, kdy vyvoláváme žádané vlastnosti, způsoby zpracování rozdělujeme na:

- nitridování (v průběhu vzniku difúzní vrstvy),
- cementování, nitrocementování (až po tepelném zpracování nasyceného pov-

rchu).

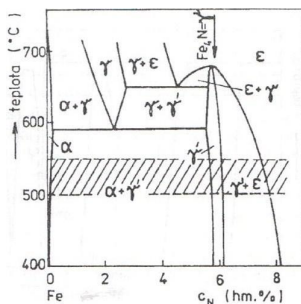
2.4. Cementování

Povrch uhlíkových, nízkolegovaných a vyš legovaných ocelí s nízkolegovaným obsahem uhlíku (do 0,25% C) se sítí uhlíkem na eutektoidní, popř. nadeutektoidní koncentraci 0,8 – 1% hmotn. uhlíku).

Po cementaci třeba součástky kalit. Používáme několik způsobů kalení:

- přímé kalení cementační teploty,
- přímé kalení s podchlazením – po cementování se vsázka v peci ochladí na 840 – 850°C) a z této teploty se zakalí,
- jednoduché kalení po ohřevu – se používá vychladnutí součástky na teplotu místnosti, potom je nový ohřev na teplotu mezi AC1 a AC3 (840 - 850°C), jádro součástky se kalí a strukturu bude tvořit ferit a martenzit,
- dvojité kalení po ohřevu – první kalení z austenitizační teploty jádra (nad AC3 – 880 – 900°C) a druhé kalení z kalící teploty vrstvy (nad AC1 – 780 – 820°C).

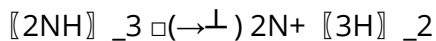
2.5. Nitridování



Základní představu o struktuře nitridování můžeme získat z rovnovážného diagramu Fe-N

Nitridujeme v plynném nebo v kapalném prostředí.

V **plynném prostředí** je zdrojem dusíku čpavek. Tento se v styku s povrchem součástky rozkládá. Můžeme to vyjádřit rovnicí:



Nitridování trvá zpravidla 12 – 60 hodin. Rychlost nitridování se zvyšuje narůstáním teploty.

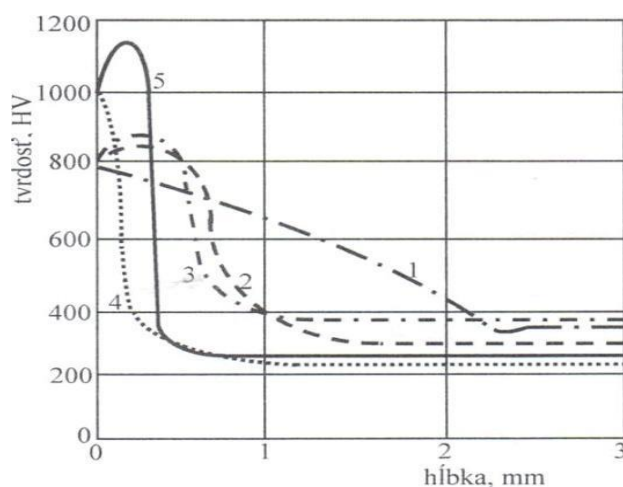
Kapalné prostředí je vytvořené při nitridování v solné lázni. Ta se skládá ze směsi kyanidu sodného (NaCN) a kyanatanu draselného (KCNO). V solné koupeli je čas nitridování kratší než v plynu (0,5 – 4).

Další způsoby chemicko-tepelného zpracování

- Nitro-cementování – nasycování povrchu uhlíkem a dusíkem v teplotách kolem AC3,
- Karbonitridování - nasycování povrchu uhlíkem a dusíkem v teplotách kolem 650-750°C,
- Sulfonitridování - nasycování povrchu sírou a dusíkem v plynném nebo kapalném prostředí (sloní koupel – 95% kyanidu sodného a 5% siřičitanu sodného),
- sulfonizování - nasycování povrchu součástek sírou. Je to podobný proces jako sulfonitridování,
- difúzní pokovování - nasycování povrchu součástek chrómem (difúzní chromování), křemíkem, hliníkem (alitování, alometování) – žáruvzdorné a odolné vůči korozi, bór zvyšuje tvrdost povrchové vrstvy a odolnost vůči opotřebení.

Průběh tvrdosti v různých vrstvách

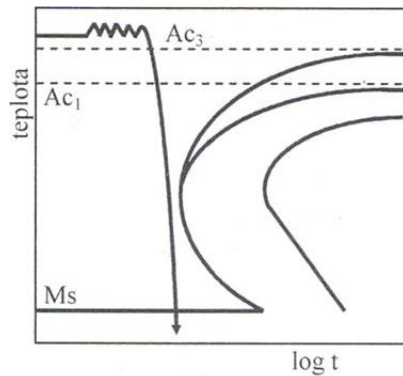
1-povrchové kalení, 2- cementování, 3- nitro-cementování, 4- karbo-nitridování, 5- nitridování



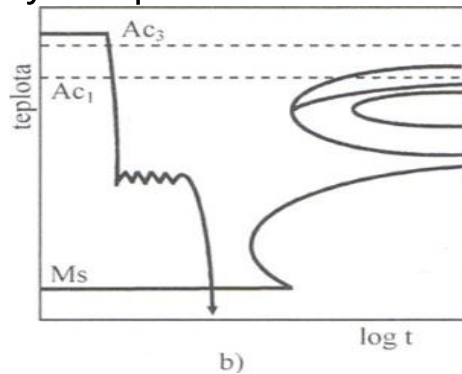
2.6. Tepelně-mechanické zpracování

Způsoby tepelně-mechanického zpracování se nejčastěji rozdělují podle teploty tváření:

Nízkoteplotní termomechanické zpracování



Vysokoteplotní termomechanické zpracování



Další způsoby tepelně-mechanického zpracování

- **isoforming** – rychlým ochlazením z austenizační teploty do perlitické oblasti,
- **dynamické deformační stárnutí martenzitu** – deformace následuje až po kalení, aplikuje se při teplotě (150-200°C).

3. Technologické postupy s podporou počítače

Neustálý tlak konkurence nutí konstruktéry a technology pracovat na nových řešeních a potýkat se s novými problémy. Zkrácení výrobních časů, zlepšení kvality, rychlá změna výrobního programu a jiné nutné změny, to jsou jen některé aspekty, které se musí řešit. Východiskem pro řešení složitých situací, které se velmi často v praxi objevují, je použití integrované výroby počítačem

CAD systémy (Computer Aided Design) jsou programové nástroje určené pro použití v úvodních etapách výrobního procesu, ve vývoji, konstrukci a technologické přípravě výroby. Oblast CAD je jen jednou součástí nasazení výpočetní techniky v průmyslu. Souhrnně je toto nasazení označeno CA technologie.

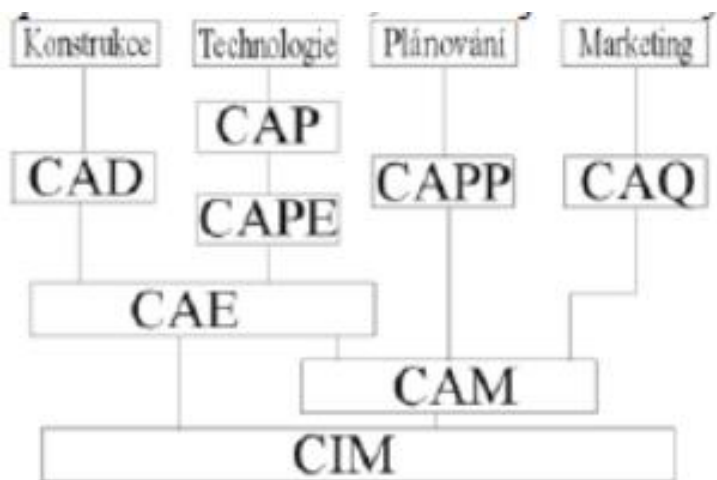
Zkratka CAx znamená Computer Aided – počítačová podpora. CAx technologie znamenají účelné a maximální využití nasazení prostředků výpočetní techniky (technického i programového vybavení), které podporuje tvůrčí přístup uživatele (konstruktéra, technologa, výpočtáře a dalších profesí) při řešení úloh souvisejících s výrobním procesem.

CAx technologií lze rozdělit do oblastí:

- CIM – Computer Integrated Manufacturing
- CAM – Computer Aided manufacturing
- CAE – Computer Aided Engineering
- CAD – Computer Aided Design
- CAPE – Computer Aided Production Engineering
- CAP – Computer Aided Programming
- CAPP – Computer Aided Process Planning
- CAQ – Computer Aided Quality
- CMR - Customer Management Relationship - systém řízení vztahů se zákazníky
- PDM - Product Data Management - správa dat o produktu
- PLM - Product Lifecycle Management - správa životního cyklu výrobku - informační platforma, která v sobě zahrnuje technické, výrobní i marketingové údaje o

daném výrobku. Výrobní podnik potřebuje mít systém řízení výroby, systém řízení vztahů s dodavateli, systém řízení vztahů se zákazníky, systém řízení kvality a systém pro plánovitý technický rozvoj a inovace. PLM tyto systémy sjednocuje a vytváří konsolidovaný soubor informací o daném výrobku.

3.1. Souvislost mezi jednotlivými oblastmi CA technologií



Obr. 1 Zařazení CAD do oblasti CA technologií

Samotnou oblast CAD technologií lze dále rozdělit na jednotlivé oblasti, například takto:

- CADD – Computer Aided Design and Drafting
- CAPD – Computer Aided Pipe Design
- FEM – Finite Element Method (v tomto případě je častěji používána zkratka CAE – Computer Aided Engineering)
- GIS – Geographical Information System
- CAM- Computer Aided Manufacturing

Všechny CAD systémy jsou nástroje. Z toho důvodu je k nim nutné i přistupovat. Samotná znalost libovolného CAD systému v žádném případě nezaručí, že ten, kdo bude se systémem pracovat, bude dobrým konstruktérem. Nasazení CAD technologií přineslo kvalitativní posun v metodice konstruování. CAD systémy prošly několika vývojovými etapami

Všechny etapy byly dány vývojem výpočetní techniky:

- sálové počítače dovolovaly vytvářet dvourozměrnou výkresovou dokumentaci
- pracovní stanice dokázaly vykreslit na vektorové obrazovce trojrozměrné objekty, jejichž tvary byly zadány souřadnicemi z klávesnice
- nástupem PC se zpřístupnila možnost vytváření výkresové dokumentace
- zvýšením výkonu PC bylo umožněno trojrozměrné modelování, převod modelů do výkresové dokumentace
- vizualizace a animace, připojení na internet

V procesu konstruování se plně využívá CAD systémů, což poskytuje tyto výhody:

- snadná spolupráce mezi zainteresovanými pracovníky
- snadná tvorba velkého počtu variant a modifikací návrhu
- využití optimalizačních metod
- dokonalý informační systém

Činnosti, které musí konstrukce zajišťovat v procesu konstruování:

- zadání technického úkolu a zpracování technických podmínek
- předběžné výpočty s vypracováním projektu
- normalizační a technicko ekonomické zhodnocení návrhu
- zhotovení výkresů sestav a výrobních výkresů, schémat zapojení
- zhotovení kusovníků, kontrolních sestav a montážních výkresů
- účast při výrobě prototypu nebo přímo při zahájení výroby, opravy výkresové dokumentace
- návrhy na externí objednávky, podklady pro balení a dopravu výrobku
- návody na obsluhu a užívání výrobku, vytvoření prospektů

Proces konstruování lze rozdělit do těchto kroků:

- prozkoumání požadavku
- definice problému
- syntéza
- analýza a optimalizace
- vyhodnocení
- provedení projektu

Moduly CAD je možné rozdělit do čtyřech kategorií:

- geometrické modelování
- inženýrská analýza
- posouzení konstrukce
- vypracování a vyhotovení výkresové dokumentace

3.2. Druhy CAD systémů

CAD systémy je možné rozdělit do tří kategorií:

- nižší
- střední
- vyšší
- velké

Pro určení, do které kategorie spadá, se používají následující kritéria:

- dostupné kreslicí a modelovací nástroje
- pořizovací cena
- podpora ze strany výrobce software a podpora ze strany prodejců

K zástupcům CAD systémů nižší třídy CAD systémů je možné zařadit takové systémy jako AutoCAD LT, TurboCAD Delux. Jedná o systémy, které podporují tvorbu dvourozměrných objektů (modelů) a umožňují generování výkresové dokumentace. Některé systémy poskytují možnost vytvoření jednoduché trojrozměrné konstrukce pomocí drátového modeláře.

CAD systémy střední třídy mohou být zastoupeny programy AutoCAD, Microstation, TurboCAD Professional, KeyCreator (CADKEY). Všechny tyto systémy obsahují trojrozměrné modelovací nástroje včetně nástrojů vizualizačních. Jsou vhodné jak pro tvorbu výkresové dokumentace, tak pro vytváření podkladů pro marketingové oddělení v podobě trojrozměrných zobrazení hotového výrobku. Výhodou těchto systémů je jejich otevřenost, což umožňuje vytvářet speciální programy – nadstavby, podle požadavků konstruktérů.

Velké CAD systémy jsou plně trojrozměrné systémy, které pro vytvoření výkresové dokumentace vyžadují nejprve vytvořit trojrozměrný model. Z modelu se následně vytvářejí sestavy nebo výkresová dokumentace. Jednou z výhod CAD systémů vyšší třídy je, že mají parametrické modeláře. Pro uživatele to znamená to, že je neustále provázán model s výkresem a případné změny provedené v libovolné části se projeví jak ve výkrese, tak v modelu. Také tyto systémy jsou otevřené a umožňují vytváření nadstaveb podle požadavků uživatele.

3.3. Rozhraní mezi počítačem a člověkem

- DOS – textový režim
- MS Windows – grafické pracovní prostředí
- Virtuální realita – nadstavba nad operačním systémem
- Virtuální realita (VR) je zatím posledním stupněm, vývoje komunikačního rozhraní

mezi člověkem a počítačem.

Vývoj komunikačního rozhraní prodělal přibližně tyto vývojové etapy:

- děrná páska a tisknutý výstup – minulost
- klávesnice a monitor – současnost. Pro srozumitelnou komunikaci bylo vytvořeno grafické komunikační prostředí – GUI – Graphics User Interface (ikonová menu, rozdělení GUI do libovolného počtu panelů – oken)
- Virtuální realita – blízká budoucnost

VR může zahrnovat tyto oblasti lidské činnosti:

- Modelování
- komunikace
- řízení
- zábava

V současnosti se rozlišují tři stupně VR:

- Pasívní
- Aktivní
- Interaktivní

Pasívní VR – se vyznačuje tím ,že můžeme pozorovat, poslouchat, hmatem vnímat, ale není možné řídit pohyby.

Aktivní VR – poskytuje možnost zkoumat prostředí, možnost pohybu ve virtuálním prostředí (létání, chůze, plavání...). Na tomto stupni se realizují procházky budovami nebo zprostředkování prohlížení virtuálních uměleckých děl.

Interaktivní VR – dovoluje se seznámit s prostředím, prozkoumat ho a měnit podle našich představ (uchopit knihu a listovat v ní).

Virtuální svět vnímáme třemi cestami:

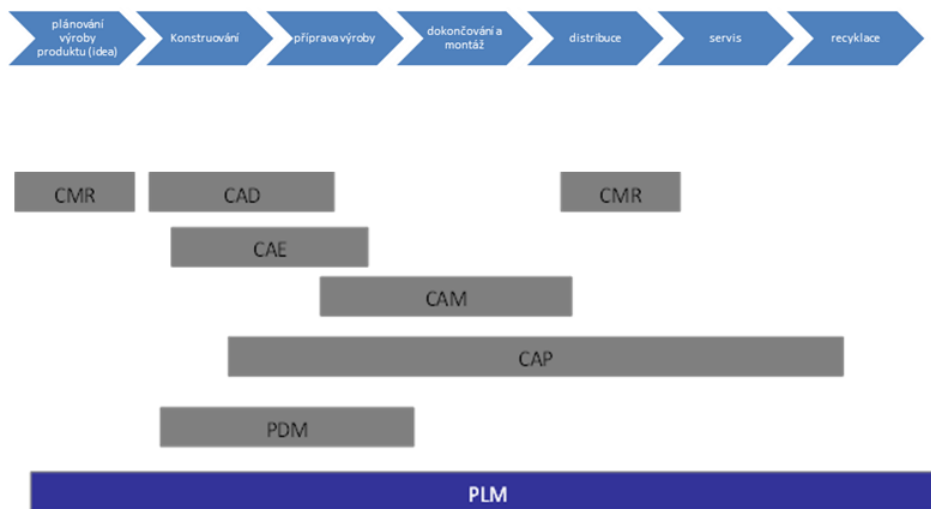
- viděním
- slyšením
- hmatem

Vidění – systém VR respektuje základní zákonitosti zobrazování, tj. perspektivu a osvětlování (zobrazování bylo první metodou vstupu do VR).

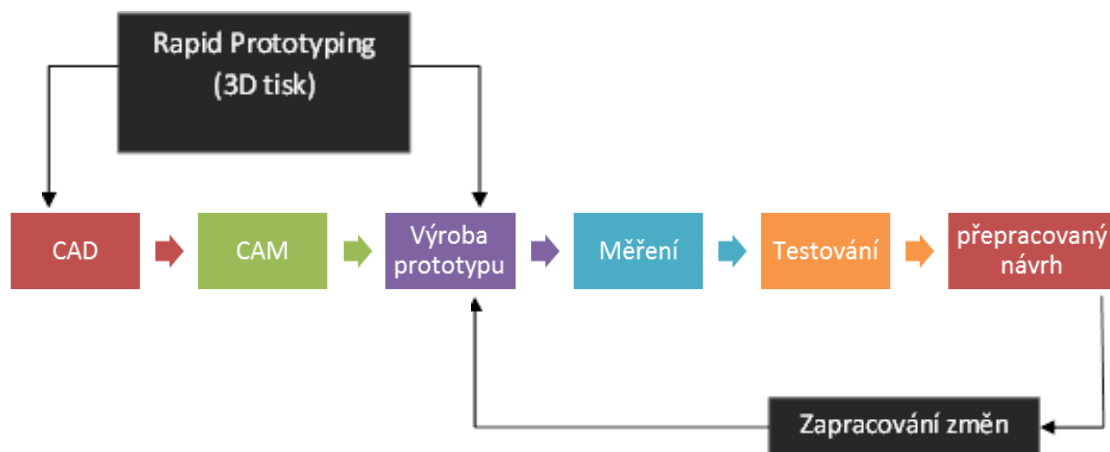
Slyšení – zvukové vjemy pomáhají při chápání VR – dnes je běžný zvuk „surround“

Dotyky – velmi důležitá možnost pro pochopení skutečností ve VR.

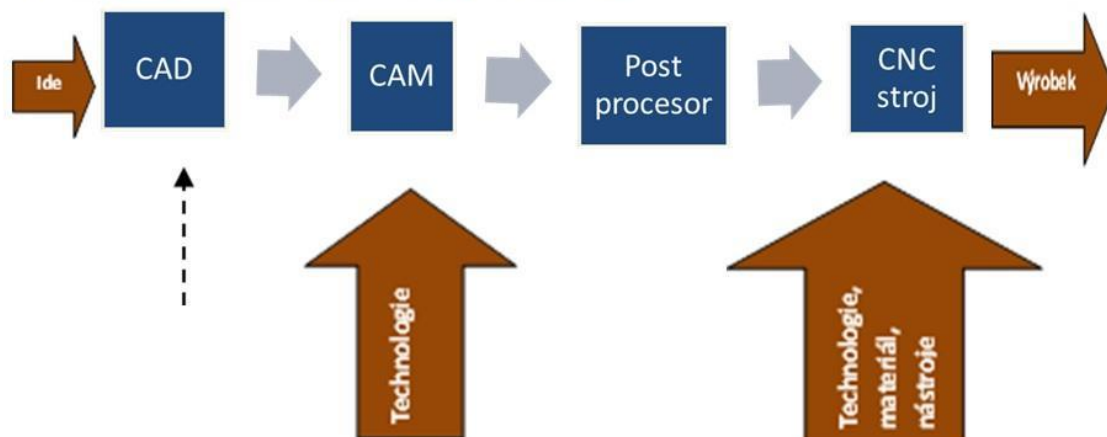
Proces řízení výrobní firmy s použitím systému PLM a integrací CAD/CAM:



Proces vývoje výrobku při použití systému CAD/CAM:

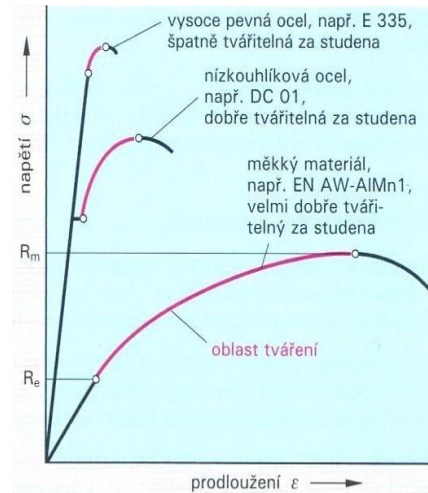
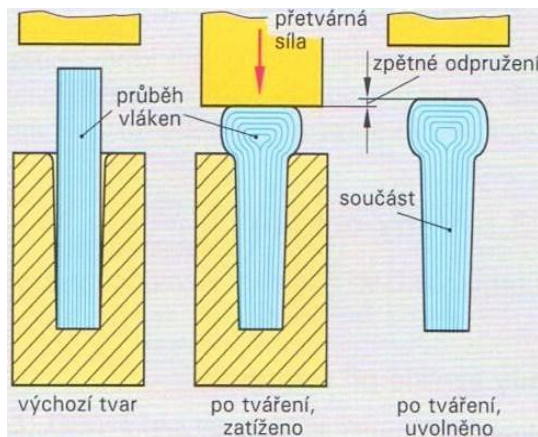


Proces výroby součásti s využitím CAD/CAM systémů:

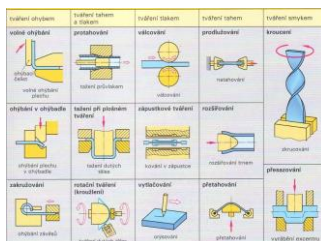


4. Tváření za studena

Tváření je část strojírenské technologie, kde měníme vlastnosti, rozměry a tvar působením vnějších sil. Změna tvaru nastává přemístěním částic kovu na základě plasticity. Je to nejdůležitější vlastnost kovů krom pevnosti a pružnosti. Struktura materiálu zůstává zachovaná a zlepšuje se pevnost.



4.1. Postupy tváření



Tvářecí procesy můžeme rozdělit podle:

- teploty
- tváření za studena (proces probíhá při teplotě nižší jako $T \leq 0,3T_1$)
 - T – tvárnici teplota v K
 - T_1 – teplota tavení kovu v K
- tváření za tepla (proces probíhá při teplotách při kterých rekrytalizace probíhá v tvárnění tak rychle, že zpevnění získané tvárněním se trátí už v průběhu tvárnění, (teploty jsou vyšší než $T \leq 0,7 T_1$))

- tepelného efektu – není naplno využita teplota na tvárnění, tvárnici proces probíhá s účinností $\eta = A_d/E$,
- A_d – deformační práce využitá na deformační proces
- E – energie stroje v okamžiku začátku tvárnění.

Tvářecí procesy můžeme rozdělit na:

- izotermické – vyvinuté teplo je odváděné do okolí, teplota kovu je konstantní, deformace kovu je vratná nebo nevratná
- adiabatické - vyvinuté teplo zůstává v kovu, spotřebuje se na zvýšení teploty
- polytropické -vyvinuté teplo je částečně odváděné do okolí, část zůstává v kovu, neprobíhá rekrytalizace, protože rychlost deformačního procesu je vyšší než rychlost rekrytalizace.
- stupně dosažené deformace – nejvyšší stupeň deformace určuje velikost změny tvaru a rozměrů tvárněného výrobku.

Zákony tvárnění

- zákon stálosti (konstantnosti) objemu
- zákon zůstatkových a doplňkových napětí
- zákon nejmenšího odporu
- zákon stálosti (konstantnosti) potenciální energie změny tvaru
- zákon podobnosti
- zákon neodlučitelnosti elastických napětí (deformací)
- zákon zpevnění
- zákon tření

4.2. Tváření za studena

Tváření za studena je technologické zpracování materiálu. Při tomto zpracování materiálu teplota leží pod teplotou rekrytalizace. Rekrytalizační teplota T_r je různá a závislá od materiálu a proto se zpravidla uvádí od teploty tavení T_t . Při většině kovů platí vztah:

$$T_r = 0,4 T_t \quad [K]$$

Lisovací technikou podle ČSN 226201 rozumíme zpracování kovových a jiných polotovarů a materiálů stříháním nebo tvarováním. Můžeme použít oba způsoby pro zhotovení součástky nebo polotovaru potřebného rozměru a tvaru. V lisovací technice hovoříme o těchto základních parcích:

- stříhání (dělení materiálu) – postupné nebo současné oddělování materiálu stříhacími nástroji
- tvarování (přemístování materiálu) – je mechanické zpracování přemístováním jeho části tahem a tlakem

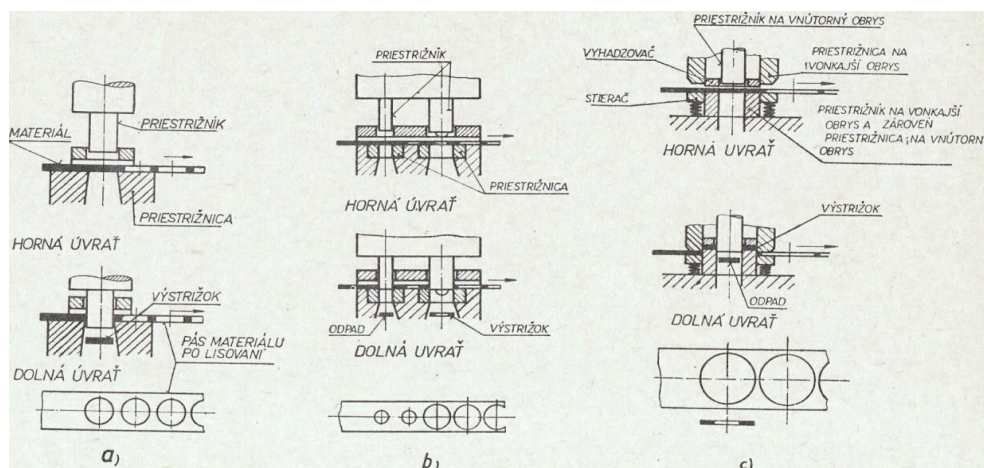
Lisovací nástroje dělíme podle úkonů na jeden zdvih takto:

jednoduché – jeden pracovní zdvih na jeden úkon (obr. 6. 13a),

postupové – dva pracovní úkony nebo víc – vykonávané jedním nástrojem za sebou (obr. 6. 13b),

sdužené – nástroje, které sdružují nebo kombinují jednoduché nebo postupové nástroje tak, že vykonávají několik pracovních úkonů různého druhu (obr. 6. 13c, např. ohýbání a děrování)

Lisovací nástroje



a-jednoduché, b-postupové, c-združené

Objemové tváření za studena

- Objemové tváření za studena je proces tváření polotovaru, který je připraven stříháním nebo řezáním z tyčového materiálu.
- Proces probíhá pod teplotou rekrystalizace tvářeného materiálu.
- Deformační zpevnění materiálu je průvodním znakem objemového tváření za studena.
- Je to důsledek zvyšování tvrdosti a pevnosti materiálu.

4.3. Pěchování za studena

- **Pěchování** – materiál stláčením se přemísťuje tak, že se zvětšuje průřez polotovaru na úkor délky nebo výšky.
- **Nabíjení** je v podstatě proces pěchování. Vytváří se ním proces zvětšení průřezu buď na konci nebo na jiném místě průřezů.
- **Tření** na kontaktních plochách je také příčinou nerovnoměrného rozložení tvárnícího tlaku na těchto plochách a vzniku tzv. soudkovitého tvaru při volném ubíjení

Schéma napětí a přetvoření při pěchování a rozdělení tlaku na stykových plochách

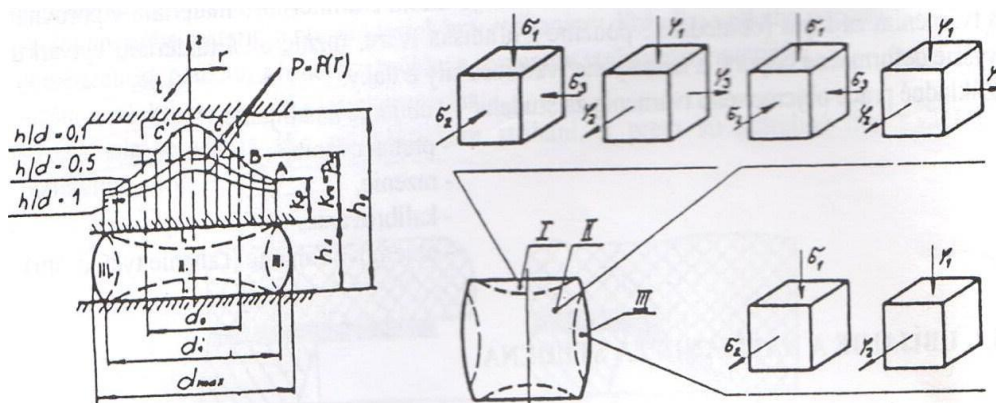
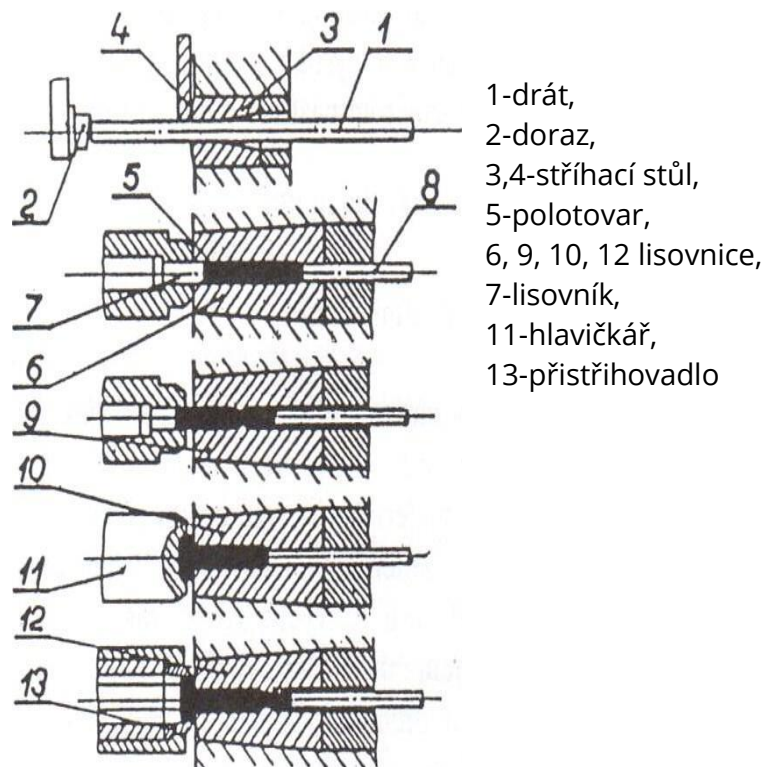


Schéma pracovního cyklu čtyř operačního postupového automatu

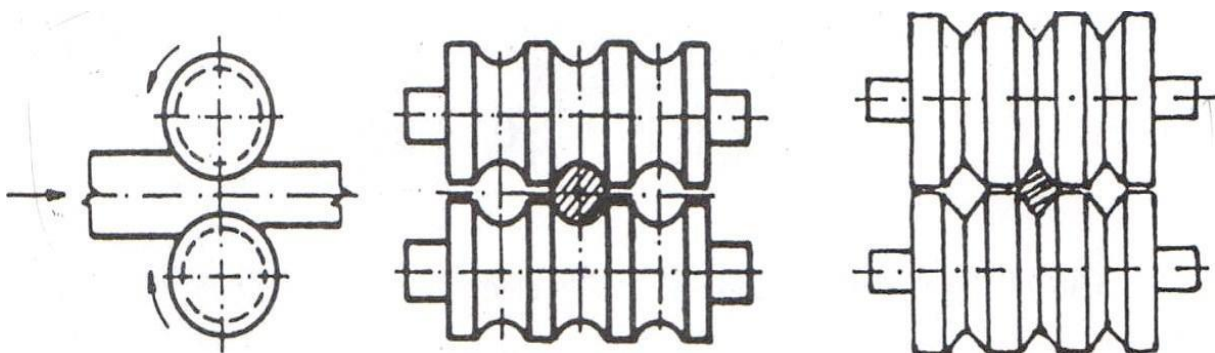


4.4. Válcování

Válcováním rozumíme kontinuální proces, při kterém se tvářený materiál deformuje mezi otáčejícími se pracovními válci za podmínek převažujícího všestranného tlaku. Válcovaný materiál se mezi válci deformuje. Válcování se dělá převážně za tepla, ale i za studena. Výsledkem procesu je vývalek.

Operace válcování dělíme:

- podélné válcování – osy válců jsou rovnoběžné, dochází ke vtažování polotovaru mezi válce - válce se otáčejí „proti sobě“,
- Podélně tvarové válcování :
- plynulé (obr. 6. 19)– tvarem kalibru je určený příčný průřez vývalku,
- přerušované– tvárnění probíhá v kalibru, vytvořeném na části obvodu válce,
- periodické – tvarem kalibru je opakující se tvar výrobku
- Schéma podélného tvarového válcování plynulého



a- válcování tyče kruhového průřezu, b- válcování tyče čtvercového průřezu

- příčné válcování - osy válců i polotovarů jsou rovnoběžné. Směr otáčení válců je shodný. Polotovar se otáčí mezi válci kolem své osy. Mění se průměr válcovaného polotovaru.
- kosé válcování– osy válců nejsou rovnoběžné, svírají úhel asi 5°. Polotovar se otáčí kolem osy a zároveň postupuje dopředu. Vplyvem tahových napětí uvnitř polotovaru vzniká dutina. Dělí se na:
 - děrování kosým válcováním – dutina se vytváří použitím trnu
 - kosé periodické válcování– tvar vývalku je daný šroubovým kalibrem na

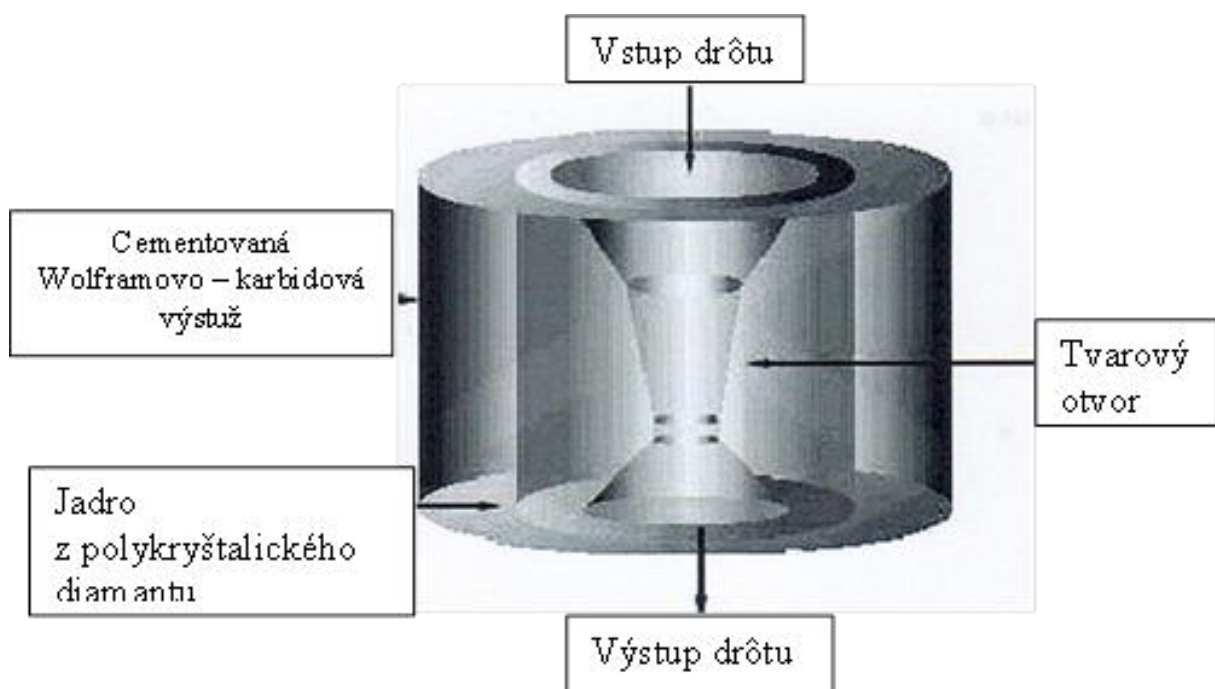
obvodu válců.

- rozválcování – vyděrovaný polotovár ve tvaru kroužku se rozválcovává přítlačným válcem na požadovaný tvar
- vroubkování– je založené na vytváření rýh na povrchu rotačního polotovaru
- válcování závitů – závitové válce vytvářejí na polotovaru závit. Válcování závitů je v sériové a hromadné výrobě.

4.5. Tažení drátů a profilů

Tažení je protahování polotovaru otvorem průvlastku, při kterém se zmenšuje příčný průřez a zvětšuje délka. Současně se mění mechanické vlastnosti (zvyšuje se mez skluzu a mez pevnosti). Zlepšuje se jakost povrchu a dosahujeme přesných tvarů a rozměrů.

Schéma průvlastků



Tažení trubek a profilů

Přetahování bezešvých trubek a profilů, se používá přerušovaný proces.

Základní způsoby tažení trubek:

- průvlastné tažení

- tažení na uchyceném trnu,
- tažení na volném trnu,
- tažení na tyči,
- profily nepravidelných tvarů

4.6. Protlačování

Přetlačování je proces tvárnění. Při tomto procesu se materiál přetlačí přes zúžený průřez protlačovadla (protlačovací nástroj). Tímto procesem se vyrábějí zpravidla menší výrobky prakticky na hotovo z barevných kovů, měkkých ocelí a v posledním období i oceli z vyšších pevností a nástrojové oceli.

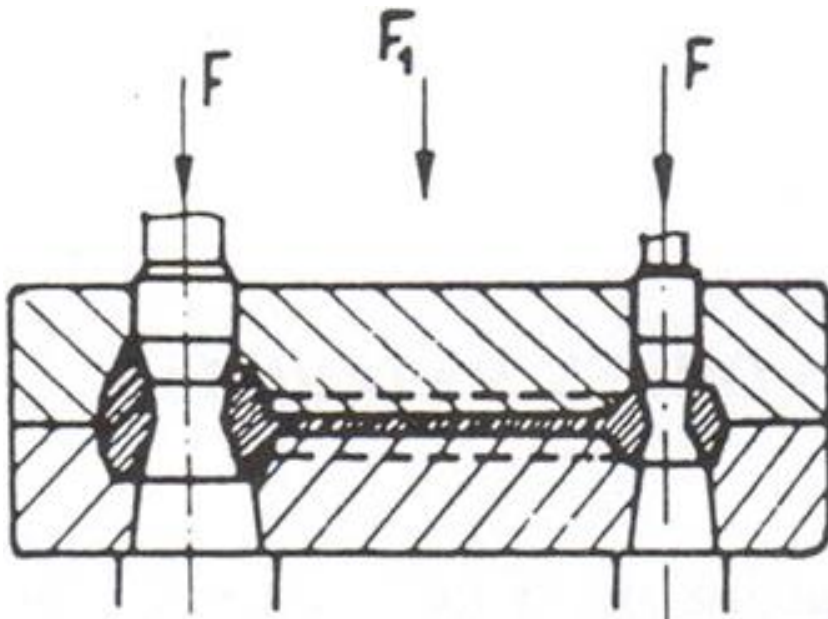
4.7. Ražení

Při technologickém procesu ražení se mění tloušťka polotovaru. Přetvářený materiál vyplňuje prostor mezi raznicí a tvarovým razníkem. Tvarová a rozměrová přesnost je závislá od velikosti výrobku a druhu raženého materiálu. Pohybuje se v rozmezí $\pm 0,05 - 0,1$ mm.

4.8. Kalibrování

Kalibrování ploch se používá na zpřesnění rozměrů protilehlých a rovnoběžných ploch výtvarku při tvárnění např. vahadel, ojníc, pák, atd. Objemová kalibrace za studena se používá k zpřesnění geometrického tvaru a rozměrů všech ploch součástek. Spolu s touto technologií se může vykonávat i kalibrování otvorů kalibračními trny.

Kalibrování ojnice se současným kalibrováním otvorů



Kalibrování můžeme rozdělit na tyto operace:

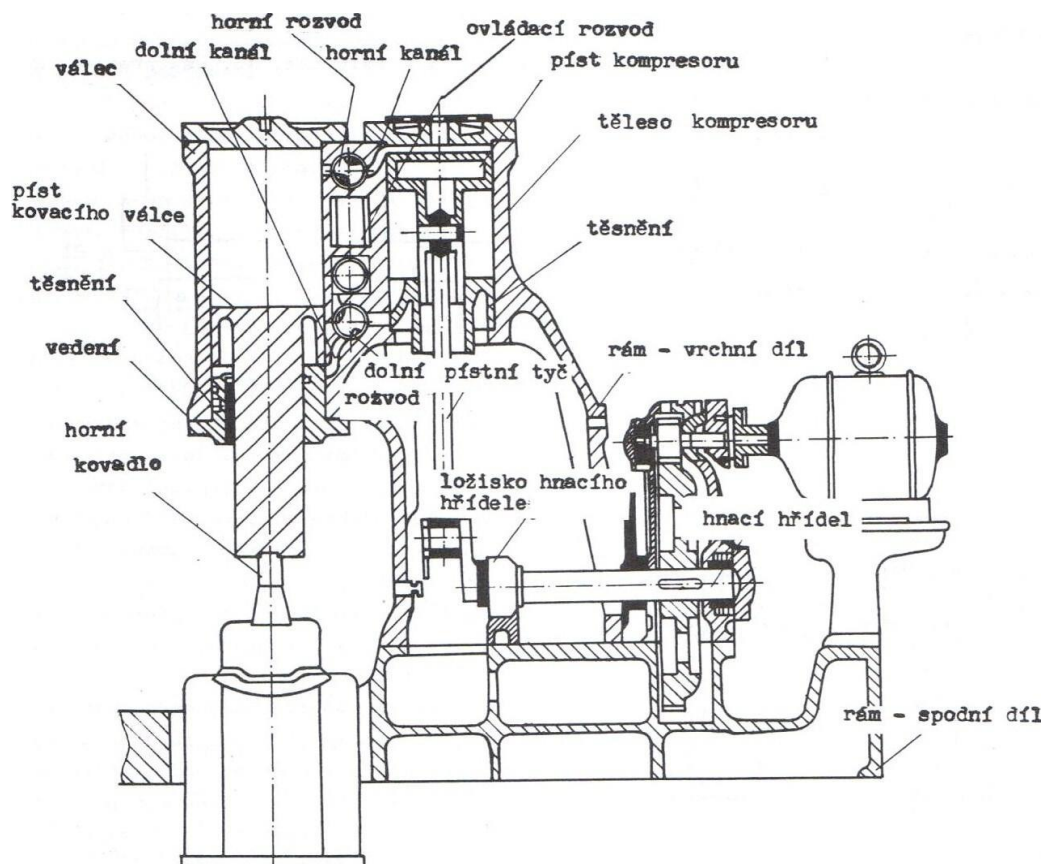
- kalibrování hleděním (tlačéním)
- rovinné kalibrování
- kalibrování po tažení – plošném, objemovém
- kalibrování po ohýbání
- kalibrování otvorů
- tvarové kalibrování

4.9. Volné kování

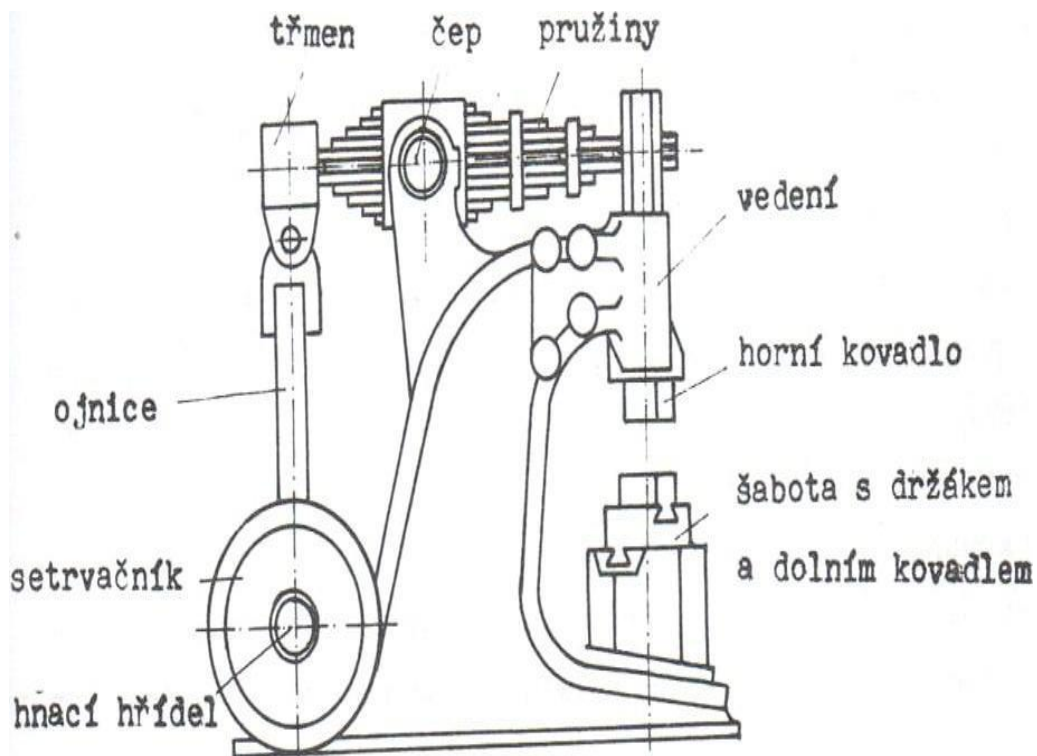
Volné kování je možné dělat strojně nebo ručně. Při volném strojním kování se jako polotovar používá předvalek nebo ingot.

K základním operacím volného kování řadíme sekání, prodlužování, pěchování, osazování, předsazování, ohýbání a děrování.

Kompresorový buchar



Pružinový předkovací buchar



4.10. Zápustkové kování

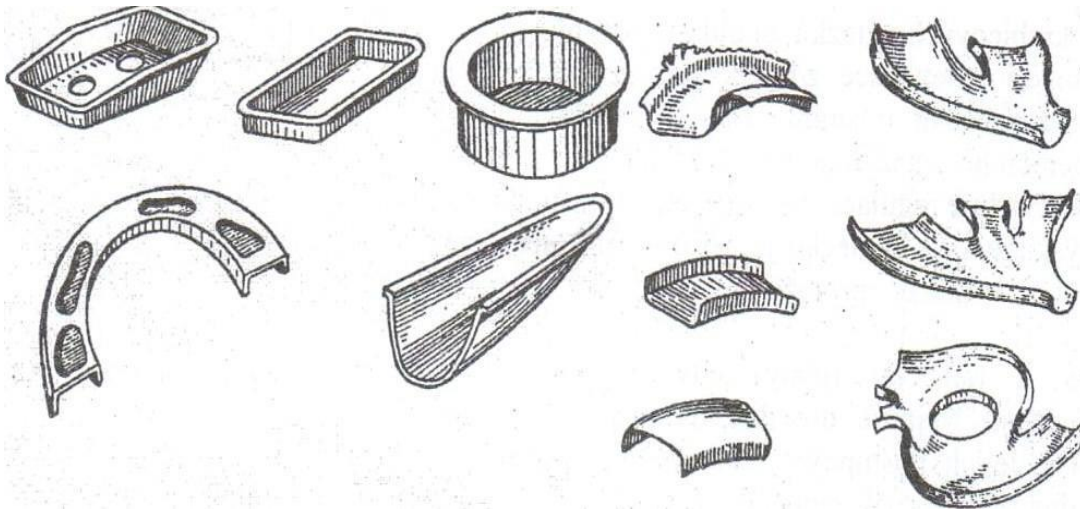
Zápustkové kování můžeme rozdělit na:

- kování v otevřených zápustkách (jde vlastně o kování s výronkem),
- kování v uzavřených zápustkách (jde o kování bez výronku).

Podle druhu použitého kovacího stroje můžeme zápustkové kování rozdělit na (Bača, J., Bílik, J., 2000):

- kování na bucharech,
- kování na lisech
 - kování na svislých kovacích strojích,
 - kování na vodorovných kovacích strojích,
- kování na kovacích válcích.

Tvary a díly vyráběných na bucharech



4.11. Plošné tvárnění

Plošné tvárnění je proces, při kterém vzniká tvarová změna. Polotovary z plechu se přetváří na požadovaný díl. Pro operaci plošného tváření nástroje dělíme podle základních operací nebo počtu kroků nebo rád na jednoduché (pro jednu operaci), postupové (víc operací) a vícenásobné.

4.12. Stříhání

Stříhání je nejvíc používaná operace při tvárnění. Stříhání se používá v kovárnách a lisovnách na:

- vystřihování součástek,
- dělení základních polotovarů.
- dokončovací operace,
- pomocné operace.

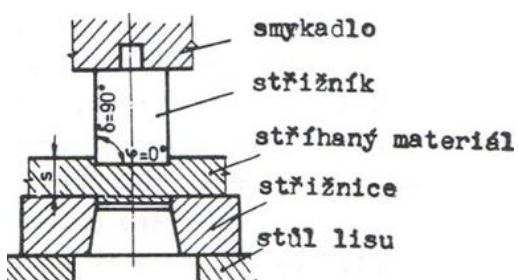
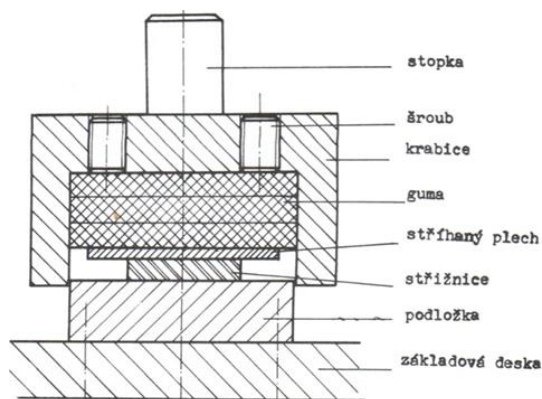


Schéma stříhání stříhadlem so střížnicí

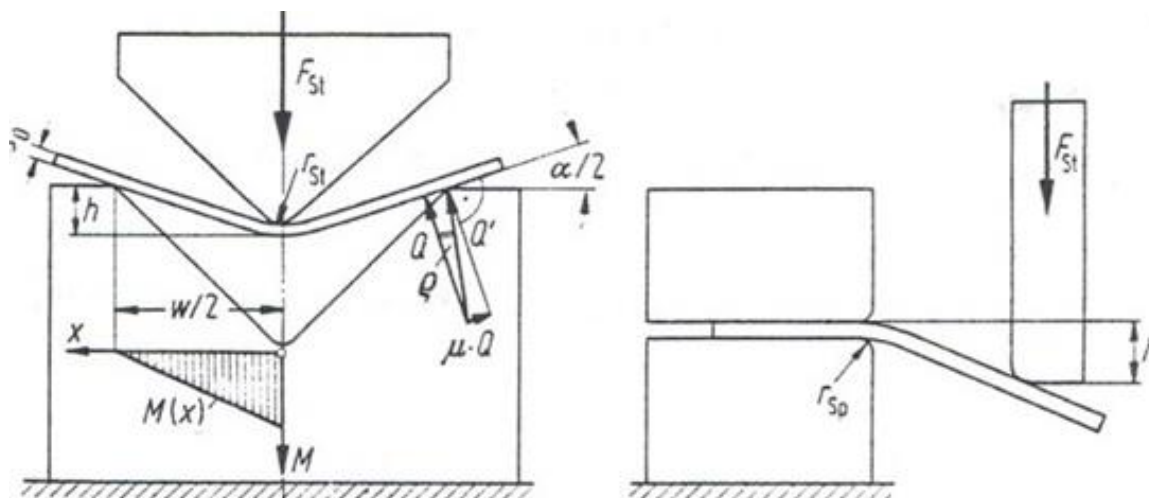


Stříhání v nepevném nástroji

4.13. Ohýbání

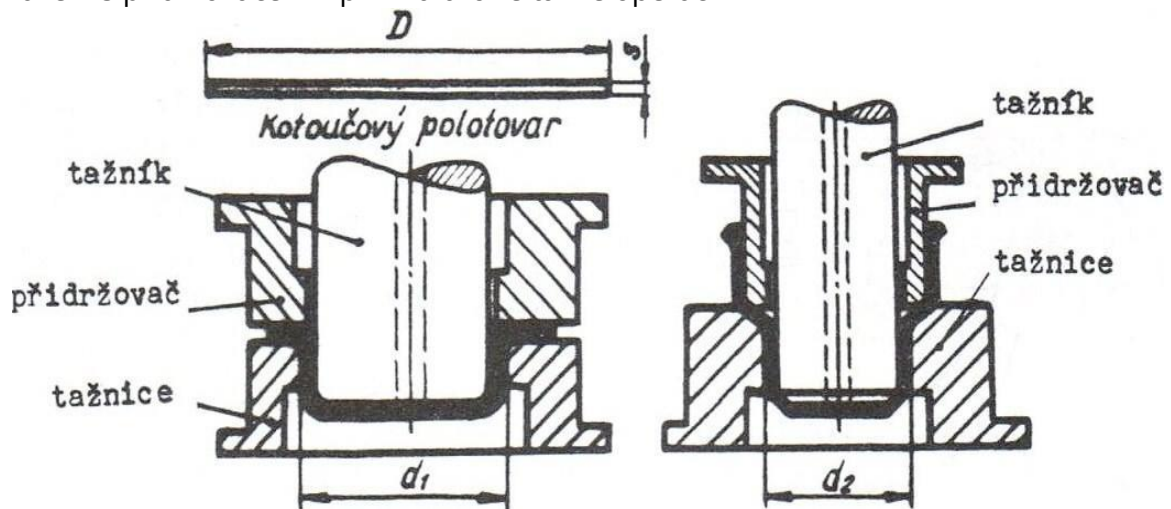
Ohýbání je pružně-plastická deformace. Tuto deformaci způsobují momenty vnějších sil. Je to vytváření ostrých anebo oblých hrán. Touto operací je možné narovnat nevhodně zformovaný plech.

Volné ohýbání



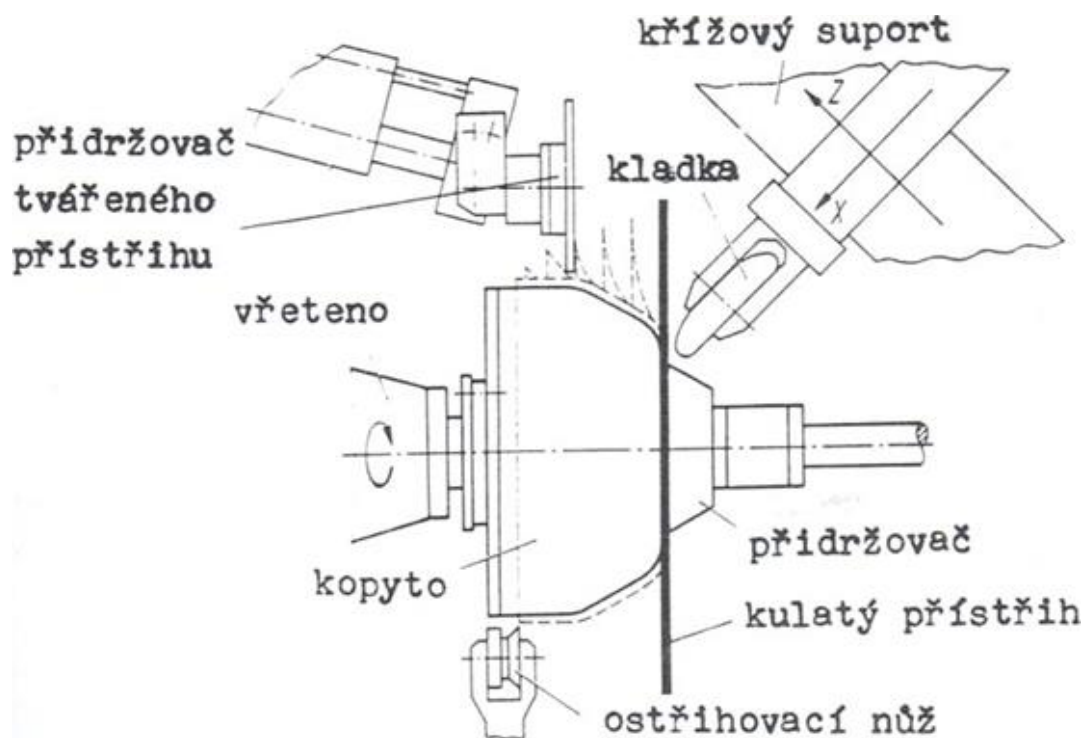
4.14. Tažení

Tažení s přidržovačem v první a druhé tažné operaci



4.15. Tlačení

Tlačení dutých těles



STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ 2

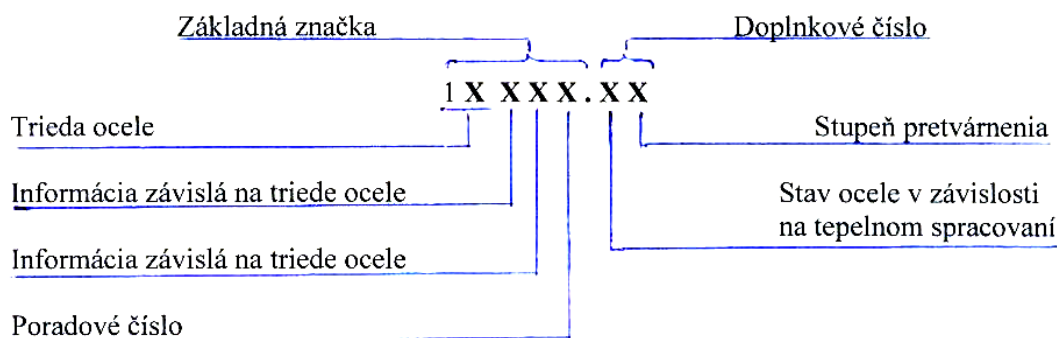
1. Značení technických materiálů

Kovy označujeme číselným značením zatím podle normy STN 42 0002, která platí dočasně. Začíná se už používat značení podle EN. Číselná značka se uvádí na výkrese součástky, na soupise detailů výkresů sestav a používá se i v obchodním styku.

1.1. Značení technických želez

Ocele tvářené:

Značka se skládá ze základní pětimístné značky a dvoumístné doplňkové značky, oddělené tečkou. Podle chemického složení se ocele dělí do tříd, které označuje *první dvojčísl* základní značky, oddělené od ostatních čísel mezerou. Je to *třída ocele*. Značka ocele vždy začíná jednotkou *1*. Schéma označení je následující:



V strojařských tabulkách je podrobně vysvětlen význam jednotlivých čísel. Třídy ocelí jsou:

10 + + + bez záruky chemického složení
konstrukční ocele obvyklých jakostí

11 + + + obsah S a P se zaručuje

12 + + + ocele uhlíkové (na cementování, na zušlechťování, pružinové)

13 + + + slitinové na cementování (Mn, Si, Mn-Si)

14 + + + na zušlechťování (Cr, Mn-Cr, Si-Cr,
konstrukční (Cr-Al, Cr-Mn-Si))

15 + + + ocele na přímé kalení (Cr-Mo, Cr-V, Mn-Cr-Mo,
zušlechtění Mn-Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Mo-Al)

16 + + + na nitridování (Ni, Cr-Ni, Cr-Ni-Mo, Ni-Cr-W)

17 + + + slitinové s vysokým obsahem ocele, korozi- a žáruvzdorné
obsahem přísad, žárupevné, speciální

18 + + + přídatné materiály, spékané kovy

19 + + + nástrojové, uhlíkové, slitinové, slitinové na nástroje,
ii Ocele slitinové rychlořezné

Význam **druhého dvojčíslí** se liší podle třídy ocele. Poslední číslo označuje významné vlastnosti (např.: 1-vhodná ke tváření, 3-ocel je svařitelná).

První doplňkové číslo znamená stav, druh tepelného zpracování (např.: 1 - ocel normalizačně žíhaná, 4-kalená, 6,7,8 - zušlechtěná na dolní, střední a horní pevnost).

Druhé doplňkové číslo udává stupeň přetváření (neudává se vždy).

Příklad značení ocele: 11 523.11 12 061.4 19 436.4

Oceli na odlitky:

Základná číselná značka je šestimístná. První dvojčíslí je 42, hutná skupina. Za ní je mezerka; druhé dvojčíslí 26 – uhlíková, 27,28,29 – slitinové, význam třetího dvojčísla závisí od druhu ocele. První doplňkové číslo za tečkou znamená stav, druhé zvláštní požadované vlastnosti.

Příklad:

uhlíková: 42 2650, slitinové: 42 2712, 42 2815, 42 2931

Litina:

Značka litiny je šestimístné číslo začínající dvojčíslím 42. Druhé dvojčíslí určuje druh litiny:

- **tvárná litina** má druhé dvojčíslí 23,
- **šedá litina** má druhé dvojčíslí 24, třetí dvojčíslí znamená u feritické litiny nejmenší pevnost v tahu (v desetinách MPa),
- **temperovaná litina** má druhé dvojčíslí 25, třetí dvojčíslí u feritické znamená nejmenší tažnost (v %), u perlitické nejmenší pevnost v tahu (v desetinách MPa).

Příklad:

42 2438, 42 2530.

1.2. Značení neželezných kovů

Hliník a slitiny hliníku

Značka se skládá ze šesti čísel, kde první dvojčíslí je 42, třetí je číslo 4, což značí lehké kovy.

Čtvrté číslo párové označuje slitiny tvářené, nepárové číslo označuje slitiny pro odlévání.

Dvojčíslí skládající se ze čtvrtého a pátého čísla určuje skupinu lehkých kovů (např. čistý hliník, slitiny Al Cu Mg, Al Mg atd.).

Šesté číslo je pořadové číslo kovu, nebo slitiny.

Doplňkové dvojčíslí značí stav a jakost tvářeného materiálu.

U odlévaných materiálů první doplňkové číslo označuje stav po tepelném zpracování odlitku, druhé doplňkové číslo značí způsob odlévání odlitku.

Příklad:

42 4004, 42 4415.

Měď a slitiny mědi

Značka se skládá ze šesti čísel, kde **první dvojčíslu je 42, třetí je číslo 3**, což značí těžké kovy.

Čtvrté číslo párové označuje slitiny tvářené, nepárové číslo označuje slitiny pro odlévání.

Dvojčíslu skládající se ze čtvrtého a pátého čísla určuje skupinu těžkých kovů.

Šesté číslo je pořadové číslo kovu nebo slitiny.

Doplňkové dvojčíslu značí stav a jakost tvářeného materiálu.

U odlévaných materiálů první doplňkové číslo označuje stav po tepelném zpracování odlitku, druhé doplňkové číslo značí způsob odlévání odlitku.

Příklad:

42 3016, 42 3256.

Podobné značení mají i měkké pájky, u kterých je nejdůležitější teplota tavení. Např. materiál pro pájku s teplotou tavení 183 °C se označuje 42 3635, pro pájku stříbrnou s teplotou tavení 650 až 810 °C se označuje 42 3809.

1.3. Značení nekovových materiálů

Značení pryže

Pryž se značí šestimístným číslem, kde první dvojčíslu je 62.

Příklad:

62 2026 – hadice, podložky, na všeobecné použití,

62 2314 – odolná proti chemickému působení.

Značení plastických látek

Plastické látky se značí šestimístným číslem, kde první dvojčíslu je 64.

Příklad:

64 3211 – obrobitelné desky z tvrdého polyvinylchloridu,
64 7003 – plastická kůže na tkanině nebo jiném textilním podkladu.

1.4. Stručný souhrn označení technických materiálů

Ocel: pětimístné číslo, první vždy 1, druhé spolu s prvním určuje třídu – od 10 do 19. Potom následuje tečka a doplňkové číslo (stav ocele).

Příklad:

11500.4 19 436.6

Ocelolitina: šestimístné číslo, první dvojčíslu vždy 42, druhé dvojčíslu vždy 26 – (nejčastější), případně 27, 28, 29. Doplňkové číslo podobně jako u oceli.

Příklad:

uhlíková - 42 2650, slitinové - 42 2712, 42 2815, 42 2931.

Litina:

- **šedá** – šestimístné číslo, první dvojčíslu vždy 42, druhé 24, příp. 23.
- **temperovaná** – šestimístné číslo, první dvojčíslu vždy 42, druhé 25.

Příklad:

šedá litina - 42 2438, temperovaná - 42 2530.

Hliník a slitiny hliníku: šestimístné číslo, kde první dvojčíslu 42, třetí číslo je 4.

Příklad:

42 4004, 42 4415.

Měď a slitiny mědi: šestimístné číslo, kde první dvojčíslu 42, třetí číslo je 3.

Příklad:

42 3016, 42 3256.

Pryž: šestimístné číslo, kde první dvojčíslu je 62.

Příklad:

62 2026, 62 2314

Plastické látky: šestimístné číslo, kde první dvojčísló je 64.

Příklad:

64 3211, 64 7003

2. Fyzikální podstata a mechanismus plastické deformace

2.1. Fyzikální vlastnosti

Hustota - poměr hmotnosti m k objemu homogenní látky V při určité teplotě:

$$\rho = \frac{m}{V} [\text{kg/m}^3] \quad (6.1)$$

Teplota tání a tuhnutí T [$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{K}$] – při ní látka mění skupenství. Důležitá je pro slévárny, sváření apod. Krystalické látky čisté (jeden prvok) mají konstantní teploty tavení a tuhnutí. Slitiny, skla, keramické látky, mají rozmezí - interval tuhnutí a tavení.

Délková a objemová roztažnost – změna délky a objemu s teplotou. Důležitá veličina při slévárny, sváření spojích apod.

Tepelná vodivost λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] – je množství tepla, které při ustáleném stavu přejde za jednotku času mezi dvěma protilehlými stěnami kostky s hranou 1 m, pokud rozdíl teplot mezi stěnami je 1 o K. Nejlepší vodič tepla je stříbro Ag. Jiné vodiče se udávají v % k stříbru (Cu – 94%, Al – 55%, Fe – 21%).

Elektrická vodivost G [S] – schopnost látky vést elektrický proud. Vodič s odporem 1 Ω má vodivost 1 S (siemens). Jsou vodiče a nevodiče (izolanty). Mezi nimi jsou polovodiče (selen, germanium, křemík atd.). Nejlepší vodič elektrického proudu je stříbro, měď a hliník, ale měď slouží na porovnávání vodivosti s jinými kovy.

Supravodivost je vlastnost některých měř, jejichž elektrický odpor se při velmi nízkých teplotách (blízko 0°K) skokem sníží na nezjistitelnou hodnotu – prakticky bez odporu. Bývá při jednosměrném proudu a polovodičích.

Měrný elektrický odpor – je to odpor vodiče o průřezu 1 mm^2 a délce 1 m. Nejlepší izolant je vakuum.

Magnetické vlastnosti – charakterizují chování měř v magnetickém poli. Podle velikosti permeability μ možno materiály rozdělit na:

- **diamagnetické látky** – mají $\mu < 1$. Nezesilují účinek vnějšího magnetického pole. Sem patří H, Au, Ag, Sn, Pb apod., též většina organických sloučenin;
- **paramagnetické látky** – mají $\mu > 1$, ale blízké 1. To je kyslík, soli vzácných zemin,

alkalické kovy, hliník, platina apod. Zesilují účinek vnějšího magnetického pole nepatrně;

- **feromagnetické látky** – vysoké μ závislé od intenzity magnetického pole. Jsou to Fe, Ni, Co, slitiny Cr a Mn. Feromagnetické látky jsou:
- **magneticky tvrdé** – těžko se zmagnetizují, ale magnetismus si potom podrží i po odstranění magnetického pole (permanentní magnety),
- **magneticky měkké** – lehko získají i ztratí magnetismus. Používají se na stavbu magnetických obvodů v elektrických strojích a přístrojích.

2.2. Chemické vlastnosti

Povrch součástek měř se často poruší vlivem působení prostředí. Je to koroze - zničí ročně až 3 % vyrobeného kovu. Odolnost vůči korozi se zjišťuje v určitém prostředí. Zkoušky jsou v přírodě nebo v laboratořích.

Velikost koroze se udává úbytkem kovu za 1 hod. v g na ploše cm^2 [$\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$]. Při vyšších teplotách (nad 600 °C) se zkoumá odolnost – žáruvzdornost. Zvyšuje se přísadami Al, Cr, Si.

2.3. Mechanické vlastnosti

Součástky jsou namáhané tahem, tlakem, kroucením, stříhem a ohybem. Aby tomu materiál odolával, musí mít vlastnosti jako je pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost aj. Tyto vlastnosti se zjišťují zkouškami.

2.4. Technologické vlastnosti

Materiál se zpracovává různými způsoby, které vyžadují odpovídající vlastnosti. Nazývají se technologické, protože jimi je určená technologie - způsob zpracování nebo opačně, technologii se vlastnosti materiálu přizpůsobí. Např. dural (AlCuMg) – slouží k výrobě pevných dílů s malou hmotností. Pro tvářeni ale nesmí být pevný, proto se upravuje tak, aby byl měkký, tvárný, potom se zpracuje a vytvrdne. Do technologických vlastností patří: tvárnost, obrobitelnost, svařitelnost, odlévatelnost.

2.5. Slitiny

Technicky používané kovy možno považovat za slitiny, protože tzv. čisté kovy obsahují ještě další prvky, které do nich přešly z výchozích látek v průběhu výrobního procesu, nebo se do nich úmyslně přidávaly. *Slitiny jsou tedy vícesložkové soustavy, ve kterých převažující látkou je kov.*

Složka, komponent, je nezávislá, čistá chemická látka, jako součást slitiny.

Komponenty slitiny navzájem nějakým způsobem jsou v interakci a podle toho se slitiny rozlišují:

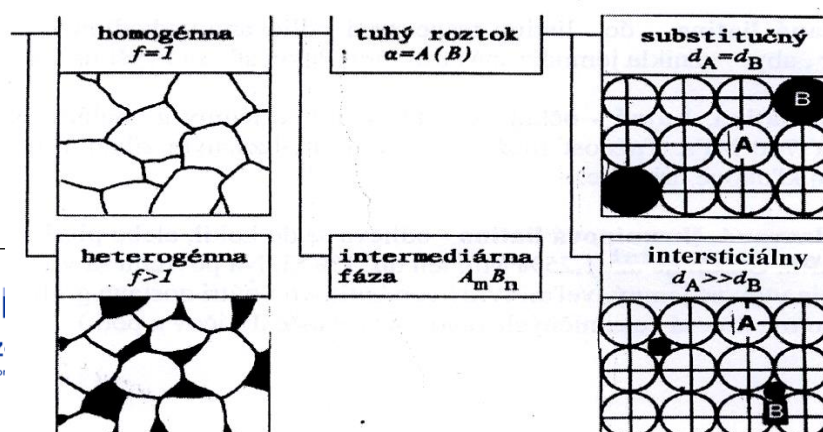
2.5.1. Homogenní:

- **tuhý roztok:** značí se písmenem řecké abecedy $\alpha = A(B)$, což značí, že kov B se rozpouští v kov A , a to neomezeně, nebo omezeně. Tuhý roztok se vytváří:
 - substitucí atomu základního kovu atomem přísady – nahradí ho v mřížce. To je roztok **substituční – nahrazovací**. Pokud je nahrazení pravidelné, je to uspořádaný tuhý roztok,
 - mezi atomy základního kovu vstoupí atom přísady – dostane se v mřížce do mezer. To je roztok **intersticiální – mezerový**;
- **chemická sloučenina:** pokud se poměr počtu atomů prvků do slitiny vstupujících dá vyjádřit jednoduchými celými čísly a nemůže se měnit. Popíše se chemickým vzorcem;
- **intermetalická** – intermediární fáze: základní kov s přísadou vytvoří novou prostorovou mřížku, ve které se atomy obou látek navzájem zastupují. Je to nová látka, která není ani chemická sloučenina, ani tuhý roztok;

2.5.2. Heterogenní:

pokud druhá látka vystupuje v jiné krystalové formě, obě dvě existují vedle sebe víceméně jemně rozložené, ale každá tvoří osobitou fázi. Je to nesourodá směs (např. jako zrno s mákem).

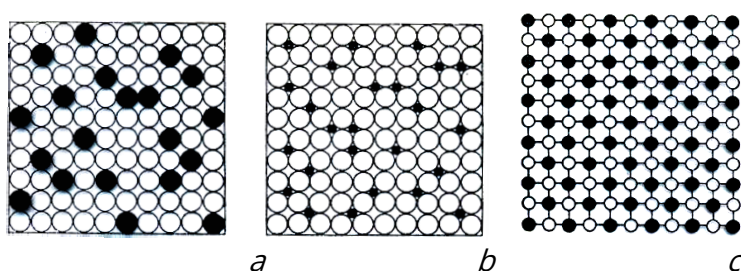
Schéma
na obr.



druhů slitin je
1 a obr. 2.

Slitiny:

Obr. 1 Druhy vnitřní stavby slitin (f -počet fází, d_A , d_B – atomové průměry složek)



Obr. 2 Tuhé roztoky: a – substituční (nahrazovací), b – intersticiální (mezerový), c – uspořádaný tuhý roztok

2.6. Krystalizace slitin

Známe tři skupenství látek – pevné, tekuté, plynné. Nás zajímá pevné a tekuté skupenství. Abychom získali tekuté skupenství – taveninu, musíme kov ohřívat; nastane kmitání atomů, zvětší se objem, měrná hmotnost je menší. Pokud teplota pokud vzroste, že kmitání atomů je velké, kov ztratí soudržnost, taví se.

Platí **Dulong-Petitovo pravidlo**: násobek měrného tepla a atomové hmotnosti je přibližně stejný a rovná se 6,2 cal/g oC. Látky s vysokou atomovou hmotností (Au, Pt, Pb) tedy mají malé měrné teplo.

Už bylo uvedeno, že krystalická mřížka se často vlivem tepla mění ještě v pevném stavu – atomy se přeskupí. Tento jev se nazývá překrystalizace – vytvoří se nová **modifikace**; tvoří se např. u železa, cínu (cínový mor) a jiných. Tento jev je označován pojmem **alotropie**.

Chladnutí taveniny má za následek její **tuhnutí**. Tuhnutí je proces přeměny tekuté fáze na tuhou. Pokud látka ztuhne jako krystalická, hovoříme o **krystalizaci**.

Primární krystalizace – je přechod z taveniny do tuhé fáze. Platí tu zákony termodynamiky. Fázové přeměny jsou na základě přeměny energeticky méně výhodné fáze na energeticky výhodnější fáze. Pokud pevná fáze bude energeticky výhodnější, začne tuhnutí.

Čisté kovy, eutektické slitiny, chemické sloučeniny – krystalizují, to znamená, že tuhnou při konstantní teplotě; při stejné teplotě se i taví. Ostatní slitiny tuhnou v intervale teplot.

Pro krystalizaci jsou důležité činitele:

- **spontánní krystalizační schopnost** (udává počet krystalizačních zárodků),
- **lineární krystalizační rychlost** (vyjadřuje rychlost růstu krystalů).

Krom těchto činitelů je důležitý vliv podchlazení – menší pohyblivost atomů, ty se střetnou, vznikne zárodek, který roste.

Velikosti vyjmenovaných činitelů a jejich vzájemná souvislost mají vliv na jemnost, nebo hrubost struktury. Dále mají vliv i odlévací formy, chladítka, vliv očkovací látky, vliv čistoty kovu.

Pokud zárodky vznikají přímo ze základního kovu, je to **homogenní nukleace**. Říkáme, že krystalizace je **spontánní**.

Pokud zárodky vznikají a rostou na útvarech cizích látek (karbidy, oxidy, nitridy, grafit, příměsi, očkovačla, nečistoty apod.), je to **heterogenní nukleace**.

Zárodky se vyskytují jen do určité teploty, nad ní se rozpouštějí.

Krystalizace slitin má tři pochody, odlišné od čistého kovu:

- z taveniny homogenní může krystalizovat několik fází,
- krystalizace probíhá v rozsahu teplot,
- krystalická fáze má jiné složení než původní homogenní tavenina.

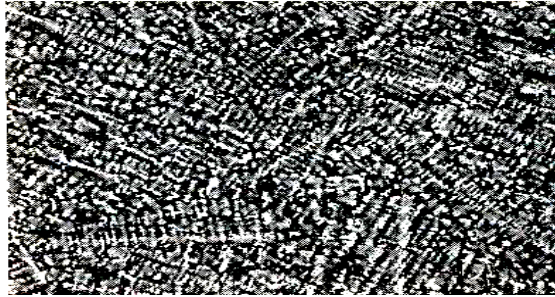
V průběhu krystalizací se dějí hlavně strukturální změny. Vznikají nové fáze.

Fáze – je homogenní část soustavy, která je oddělená od ostatních částí soustavy povrchovým rozhraním a má stejné vlastnosti, strukturu a chemické složení (např. směs zrna a máku je soustava jako celek, mák je jedna fáze, zrno druhá). Fázi může tvořit homogenní látka nebo disperze.

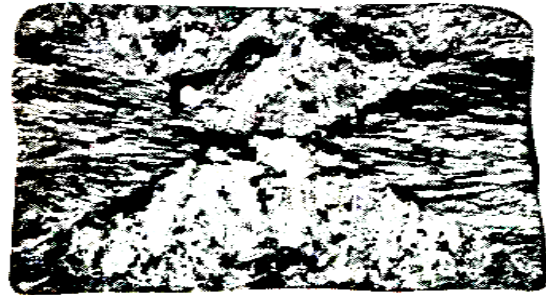
Disperze – je soustava obsahující aspoň dva druhy látek, z nichž jedna je rozptýlená v druhé; je to nestejnorodá soustava dvou nebo více fází.

V krystalizaci probíhá **transkrystalizace** – vznik **dendritů** – stromkovitých krystalitů,

vznik krystalizačních os (obr. 6.12a), vznik lunek, mikrolunek (vznikají mezi krystaly a působí jako vrub obr. 6.12b).



a



b

Obr. 6.12 Dendrity v lité oceli – a, krystality ve slitině Fe-Ni – b

3. Odvození základních veličin plastické deformace

3.1. Mezní stavy materiálu

Ve většině strojírenských oborů se v posledních několika desetiletích značně zvýšily technické parametry strojů a zařízení (pracovních tlaků a teplot, otáček, jednotkových výkonů apod.) Přitom však klesá jejich hmotnost, vztahovaná na jednotku výkonu.

Mezní stav – definice

- Mezní stav je takový stav materiálu, při kterém v důsledku působení externích či interních faktorů kritické velikosti nebo kombinací působení externích a interních faktorů kritické velikosti materiál skokem ztratí funkční a užitkové vlastnosti, případně postupná změna funkčních a užitkových vlastností dosáhne jisté úrovně.
- Skoková změna stavu materiálu.

Druhá definice zevšeobecňuje mezní stav nejen na ztrátu užitkových vlastností, ale zahrnuje i jevy, které nemusí ovlivňovat funkční vlastnosti dané konstrukcí jako např. přechod z feromagnetického do paramagnetického stavu (Currieho teplota), polymorfni přeměny apod.

- Mezní stav je stav systému vyjádřený podmínkami (parametry) činnosti systému, při jejichž překročení dojde k dočasnému nebo trvalému porušení (selhání) funkcí systému. Mezní stav systému je na rozhraní normálního a poruchového stavu.

Třetí definice určuje mezní stav jako místo skokového rozhraní mezi dvěma stavy, použitelným – nepoužitelným.

Dosažení mezního stavu závisí na *dynamice hromadění poškození*, která je funkcí substrukturního a strukturního stavu materiálu, technologických charakteristik výroby a konstrukčních podmínek využívání tělesa, velikosti a druhu zatěžování, reakci materiálu na zatěžování a především času působení faktorů, které každý sám o sobě nebo v superpozici mohou vyvolat mezní stav.

- **Úroveň poškození materiálu** je charakterizovaná hladinou vnitřní energie, zejména v místech s koncentrací nebo podílem oblastí s narušením koheze materiálu v důsledku působení externích nebo interních faktorů mezního stavu.

- **Plastická deformace** je schopnost materiálu měnit tvar a rozměry přizpůsobené dostatečně velikého zatížení bez toho, aby měnili svoji krystalickou stavbu.
- **Místní poškození materiálu** je nevratná, objemově a místně omezená ztráta koheze, jejímž výsledkem je oddělení jistého objemu materiálu, vytvoření trhliny nebo sítě trhlin, případně vrstvy, která má významně odlišné užitkové vlastnosti než okolní materiál.
- **Lom** je nevratná ztráta koheze částic materiálu v části nebo v celém průřezu tělesa.

Co ovlivňuje mezní stav

- Strukturní a substrukturní stav – morfologie jednotlivých fází, precipitáty, segregáty
- Technologie výroby – zbytkové napětí po tváření, svary, defekty
- Provozní podmínky (prostředí) – provozní atmosféra, podmínky mazání, otáčky, doba provozu
- Velikost a druh zatížení – velikost, směr, statické zatažení, rázové zatížení
- Chemické složení.
- Rychlost zatížení – jev plastické nestability
- Koroze
- Čas – historie zatížení
- Teplota
- Superpozice více faktorů

3.2. Rozdělení mezních stavů

Mezní stavy nosnosti:

- **Deformace - překročení mezní hodnoty napětí**

Mezní stav pružné deformace,

- nadměrná pružná deformace (mikroplastická, makroplastická),
- porušení pružné stability (vzpěr),
- pokles pružné deformace (relaxace),

Mezní stav plastické deformace

- nadměrná plastická deformace (kritická)
- porušení plastické stability (vzpěr)

- **Mezní stav porušení (lom)**

Přetížením,

- křehký,
- tvárný,
- tečením,
- rázem,
- tepelná deformace šokem,
- korozí,
- zabržděný,
- předčasný.

Únavou,

- mechanickou $\varepsilon=f(\sigma)$,
- tepelnou $\varepsilon=f(T)$,
- tepelně-mechanickou $\varepsilon=f(T, \sigma)$,
- tečením $\varepsilon=f(T, \sigma, t)$.

- **Místní poškození**

Objemové,

- vodíkem,
- interkrystalická koroze,
- tekutým kovem,
- svarem,
- radiační,
- natékáním,
- energetickými poli.

Povrchové,

- adhezí,
- abrazí,
- erozí,
- kavitací,
- kontaktem,
- vibracemi,
- korozí,
- teplotou,
- vytrhnutím,

- **Mezní stavy použitelnosti:**

- Nadměrné průhyby.
- Velikost dynamické odezvy.
- Ztráta stability polohy.
- Vibrace, hluk, klepání.

3.3. Korozní praskání

Patří mezi jednu z forem koroze, která vzniká za současného působení korozního prostředí a napětí (Tab. 7.1). Korozní napadnutí je v takovémto případě intenzivnější, než by odpovídalo součtu poškození při odděleném působení obou činitelů. Aby vzniklo korozní praskání, musí být splněny tři podmínky:

- korozní prostředí,
- materiál náchylný na praskání,
- přítomnost určité složky tahového napětí.

Náchylnost na korozní praskání ovlivňují metalurgické (chemické složení kovu, obsah

vnitřního napětí, stupeň deformace, přítomnost nehomogenit) a elektrochemické faktory (hodnota elektrochemického potenciálu, schopnost kovů pasivovat se, charakter korozního prostředí).

Korozní praskání (viz Obr. 7.3 a 7.4) může mít interkrystalický nebo transkrystalický charakter. Trhliny se při korozním praskání často iniciují na existujících povrchových chybách jako drážky a rýhy po opracování nebo ostré okraje.

Tab. 7.1 Kombinací kovů a prostředí, ve kterých vzniká korozní praskání

Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Zn	mořská voda
Cu-Al, Cu-Zn-Ni, Cu-Sn	amoniak
uhlíkové oceli	horké roztoky dusičnanů, uhličitánů a hydroxidů
austenitické antikorozní ocele	horké koncentrované chloridové roztoky, chloridy znečištěné páry
Titán a jeho slitiny	10 % HCl
Nikl a jeho slitiny	roztoky NaOH a KOH při 130°C



Obr. 7.3 Schéma korozních trhlin



Obr. 7.4 Mikrofotografie korozních trhlin

Růst trhliny je střídáním chemické a mechanické degradace skokový. Působení chemické reakce na čele trhliny urychluje její šíření a hromadění napětí na čele trhliny zvyšuje reaktivnost tohoto místa. Z toho vyplývá synergie obou působících procesů.

3.4. Prevence

- Studium materiálu a jeho reakcí na různé konstrukční prvky a technologické postupy – vliv svarů, vrubů, kmitání, namáhání, energosilového opracování apod.
- Výběr vhodného materiálu – správná kombinace vlastností materiálu pro dané namáhání a prostředí.
- Zdokonalování konstrukčních řešení a postupů určování namáhání v jednotlivých místech konstrukcí.
- Dodržování technologických postupů výroby.
- Správná montáž.
- Správný provoz. – mazání, teplota, nepřetěžování.
- Údržba a kontrola zařízení nebo konstrukcí. – kontrola trhlin (letadla, mosty)
- Zkoušky výrobků přímo u výrobců.
- Defektoskopie. – kontrola vyrobených součástek před zařazením do provozu a po dobu provozu např. potrubí, lopatky leteckého motoru, dutiny ve svarech apod.
- Poučení se z chyb minulosti. – zjišťování příčin průmyslových havárií a vykonání potřebných kroků, aby se v budoucnosti předešlo podobnému problému.

4. Vliv teploty na plastické vlastnosti materiálu

4.1. Technologické vlastnosti materiálů

- **tvářitelnost** – schopnost materiálu změnit tvar působením vnějších sil bez porušení celistvosti
- **svařitelnost** – označuje způsobilost zhotovit svarový spoj požadovaných vlastností
- **slévateľnost** – souhrn vlastností, které charakterizují vhodnost materiálu na zpracování odléváním
- **obrobitelnost** – souhrn vlastností, které udávají, jak obtížně a s jakým výsledkem se daný materiál obrábí

4.2. Napětí

Definice: je to poměr síly a průřezu

působením vnější síly na těleso vzniká napětí v průřezu tělesa (Obr. 1)

$$\delta = \frac{F}{S_0} = \left[\frac{N}{mm^2} \right] [Mpa] \quad (\text{Obr. 1})$$

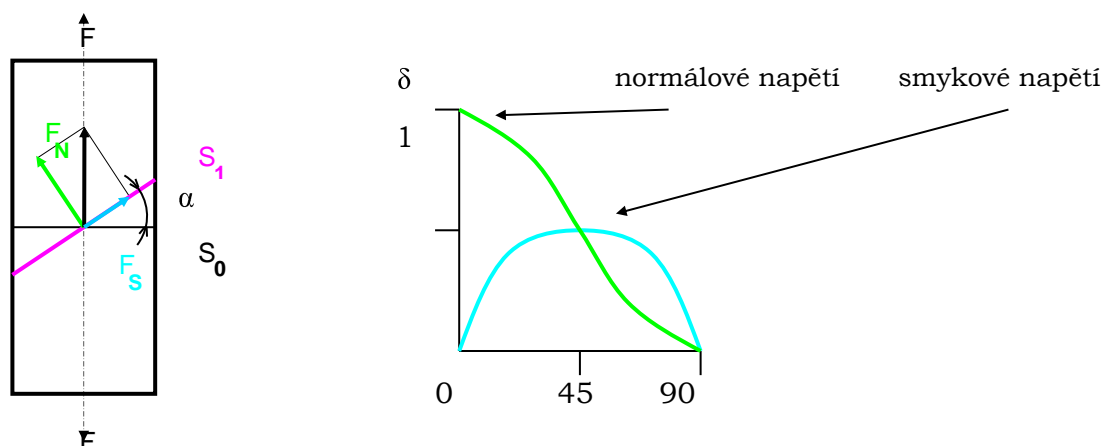
$$F_N = F \cdot \cos \alpha \quad F_S = F \cdot \sin \alpha$$

$$\delta = \frac{F_N}{S_1} \quad \tau = \frac{F_S}{S_1}$$

Kde:

F_N – normálová složka

F_S – smyková složka



Obr. 1 Vznik a průběh napětí

4.3. Působení vnějších sil – definice pevnosti

Pevnost – schopnost materiálu snášet zatížení. Mez pevnosti je napětí, při kterém se materiál poruší, rozdělí na dvě části.

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [Mpa]}$$

4.4. Pružná a plastická (trvalá) deformace kovů

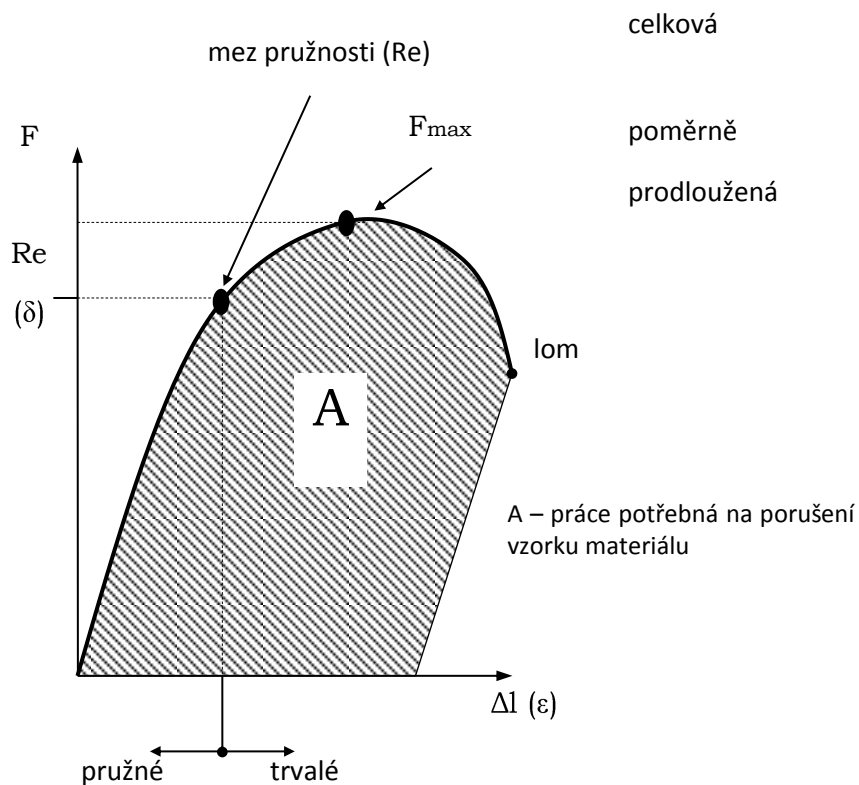
Deformace – změna tvaru a rozměrů působením vnější síly

Pružná deformace

- materiál se vrátí po skončení působení vnějšího zatížení do původního tvaru
- Nastává, pokud se atomy působením vnější síly v krystalové mřížce vychýlí z jejich rovnovážných poloh o vzdálenost menší, než je polovina mřížkového parametru. Po odstranění zatížení se atomy vrátí do původních poloh.

Plastická (trvalá) deformace

- po skončení působení vnějšího zatížení zůstává určitá deformace v závislosti na síle zatížení
- Vzniká, pokud jsou atomy vychýlené ze svých rovnovážných poloh o více než parametr mřížky, v důsledku čehož se o odlehčení nedokážou vrátit zpět do původní polohy.



$$\Delta l = l - l_0$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Obr. 2 Pružná a plastická deformace

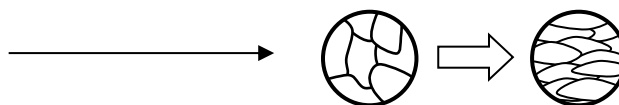
Mechanismus plastické deformace:

- skluzem (skluzová rovina, směr skluzu)
- duplováním

4.5. Důsledky plastické deformace za studena

Důsledky plastických deformací jsou:

- zpevnění materiálu
- vznik deformační textury
- anisotropie mechanických vlastností
- zvýšení množství poruch



Odstranění důsledků plastických deformací

- **ohřevem materiálu** a podle teploty materiálu hovoříme o ozdravení mřížky. Částečná obnova vlastností, snížení pnutí.

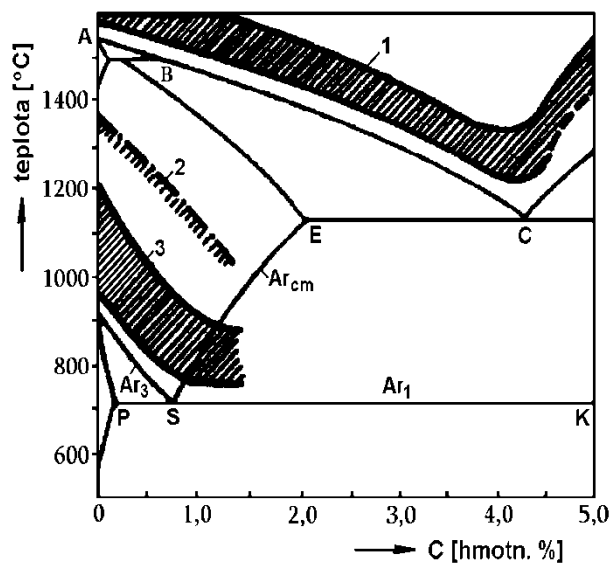
$$\text{ohřev na } T < T_{\text{rekr.}} \quad T_{\text{rekr.}} = 0,35 - 0,4 T_{\text{tav}} \quad (8.3)$$

- **rekrytalizací**

$$\text{ohřev na } T > T_{\text{rekr.}}$$

Překrytalizačním žiháním tyto důsledky odstraníme. Překrytalizační deformace zrn na nedeformované úplně odstraní důsledky plastické deformace.

Tváření za tepla se realizuje v oblasti tuhého roztoku γ (austenitu), protože má mřížku K12 vyznačující se dobrou tvářitelností. Je výhodné, když počáteční teplota tváření je vysoká, protože snižuje pevnost austenitu při intenzivní rekrytalizaci deformovaných austenitických zrn. Pro dosažení určité deformace je potřebné menší množství energie než v případě nižších teplot. Výška teploty tváření je však omezená na hodnotu 100 – 200°C pod teplotou solidu, aby nedošlo k značnému zhrubnutí zrna, případně ke „spálení“ ocele. Tváření se musí dokončit do teploty Ar_3 u podeutektoidních ocelí a Ar_1 u nadeutektoidních ocelí. Při teplotě Ar_3 , resp. Ar_1 převládá deformační proces nad procesem rekrytalizačním a po ochlazení z tvářecích teplot vzniká jemnozrná struktura. U nadeutektoidních ocelí tváření mezi teplotou Ar_{cm} a Ar_1 dosáhneme rozdrobení síťové sekundárního cementitu, čímž zvýšíme deformační vlastnosti (tažnost, smrštění) této slitiny. Oblast tvářecích teplot je na obr. 3.



Obr. 8.3 Charakteristické teploty v diagramu Fe – C

1) teploty odlévání, 2) horní hranice kovacích teplot, 3) teploty tváření

Tepelné zpracování. Největší význam má diagram Fe – C pro postupy při tepelném zpracování, které umožňuje měnit vlastnosti materiálů v širokém rozmezí. Podle kritických teplot A_1 , A_3 , A_m se určují žíhací, kalicí teploty, teploty fázových přeměn a jiné. Diagram umožňuje určit též výsledné struktury po tepelném zpracování.

Z uvedených příkladů, ale i dalších aplikací jako je např. volba teplot pro jednotlivé druhy chemicko-tepelného zpracování, termomechanického zpracování apod. vyplývá, že rovnovážné diagramy Fe – C dávají velmi cenné informace pro dosažení optimálních vlastností slitin Fe – C.

5. Rozdělení technologických tvářecích procesů

Tváření je technologický proces, při kterém se působením tvářecího nástroje mění tvar výchozího materiálu bez odběru třísek. Tváření patří mezi progresivní výrobní technologie. Progresivnost tváření spočívá zejména ve snížené spotřebě výchozího materiálu na součástky nebo konstrukci, ve zlepšení mechanických vlastností výchozího materiálu v krátkých výrobních časech, ve vysoké produktivitě, v možnosti výroby součástek a v plné automatizaci pomocných operací a úkonů.

Výtvarok je název výrobku, který byl zhotovený tvářením bez ohledu na druh tvářecí operace použité při zhotovení výtvarku.

Ve vztahu k druhu, tvaru výchozího materiálu a změny průřezu (tloušťky), **dělíme tváření na plošné a objemové.**

- Plošné tváření je proces, při kterém se dosahuje požadovaná změna bez podstatné změny průřezu (tloušťky) výchozího materiálu (většinou plech).
- Objemové tváření je proces, při kterém se dosahuje požadovaná změna změnou tvaru průřezu výchozího materiálu.

Technologické tvářecí procesy možno rozdělit podle:

- teploty
- tepelného efektu
- stupně dosažené deformace

Rozdělení tváření podle teploty:

Plastické vlastnosti čistých kovů a slitin se z hlediska tváření mění vlivem teploty. Mění se jejich odpor, který kladou proti trvalé změně tvaru. Při vysokých teplotách má většina kovů a jejich slitin lepší plastické vlastnosti.

Plastická deformace, ke které dochází při technologických tvářecích procesech za studena, způsobuje změnu mechanických, fyzikálních a chemických vlastností kovů. Souhrn jevů spojených s těmito změnami nazýváme zpevněním.

Podle toho, zda tváření probíhá pod rekryalizační teplotou nebo nad ní, můžeme technologické tvářecí procesy rozdělit na dvě skupiny:

- tváření za studena
- tváření za tepla

Tváření za studena je také technologické zpracování materiálu, při kterém teplota materiálu je pod teplotou rekrystalizace. To znamená, že zpevnění materiálu způsobené tvářením, se většinou zachovává. Tvářením za studena probíhá při teplotách nižších než $T \leq 0,3 \cdot T_{\text{tav}}$, kde teploty se udávají v Kelvinech.

Tváření za studena se nejčastěji používá:

- za účelem dosažení lesklého a hladkého povrchu výrobku, jako např. při válcování plechů, pásů, lesklém tahání drátu a tyčí atd.
- k dosažení přesných rozměrů výrobku, např. při protlačování, tahání drátu, hloubkovém tažení atd.
- ke zvýšení pevnosti a tvrdosti
- u slitin, které nejsou schopny rekrystalizace
- pokud tvářením za tepla není možné, protože materiál má tak velký povrch, že rychle chladne v důsledku malého průřezu
- pro laciné a rychlé vyrábění součástky při vyhovující kvalitě

Tvářením za studena se zvyšuje pevnost a tvrdost materiálu, pokud jeho tažnost klesá, což je důkazem snižování plasticity materiálu. Přitom vzniká deformační struktura a anizotropie mechanických vlastností.

Tvářením za tepla se rozumí tvářením při takových teplotách, při kterých probíhá rekrystalizace v průběhu tvářením tak rychle, že zpevnění způsobené tvářením mizí už v průběhu tvářením nebo bezprostředně po něm. Tvářením za tepla probíhá při vyšších teplotách než je rekrystalizační teplota. Za tvářením za tepla považujeme ty procesy, které probíhají při teplotách vyšších než $0,7 \cdot T_{\text{tav}}$.

Při tvářením za tepla probíhají **současně dva děje, destrukce (deformace) a rekrystalizace.**

Rozdělení tvářením podle tepelného efektu

Podle toho, jaké množství vyvinutého tepla se spotřebuje na zvýšení teploty tvářeného kovu, tvářením možno rozdělit na procesy:

- **izotermické** – vyvinuté teplo se odvádí do okolí, teplota výtvarku se nemění
- **adiabatické** – všechno vyvinuté teplo zůstává v tvářeném kovu, zvyšuje se jeho teplota
- **polytropické** – vyvinuté teplo se zčásti odvede a zčásti zůstává v tvářeném kovu; tyto procesy jsou v praxi nejčastější

Rozdělení tvářením podle stupně dosažené deformace:

Pokud použijeme pro takovouto klasifikaci poměr mezi volným povrchem tvářeného materiálu a povrchem, který je ve styku s nástrojem, je možné technologické tvářecí

procesy rozdělit do tří skupin:

- volný povrch tvářeného objemu větší než je povrch, který je v styku s nástrojem (volné kování)
- volný povrch tvářeného objemu přibližně stejně velký jako povrch, který je ve styku s nástrojem (kování v tvarových kovádlech, v otevřených zápustkách)
- velký povrch tvářeného materiálu menší než povrch, který je v styku s nástrojem (kování v uzavřených zápustkách, protlačování)

5.1. Operace stříhání - rozdělení a princip

Stříhání je jedna z nejčastěji používaných operací ve strojírenské výrobě. Používá se při přípravě polotovarů na vystřihování hotových výstřižků nebo jako pomocná operace při výrobě strojařských výrobků.

Stříhání je taková **technologická operace**, při které působením vnějších sil dochází k postupnému nebo současnému oddělování částí materiálu ve střížných nástrojích podél křivky stříhu.

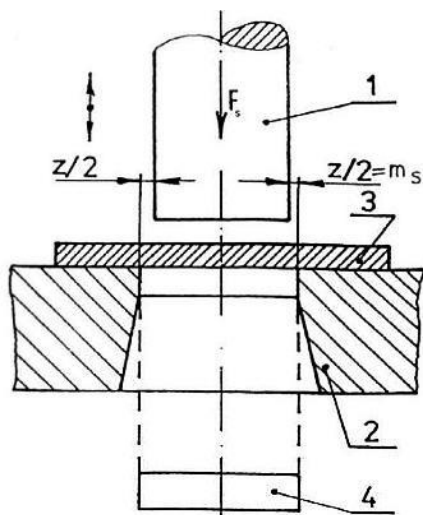
Mezi základní operace stříhání patří:

- děrování (vytváření otvorů)
- ostříhování (oddělování nadbytečného materiálu)
- vystřihování (vystřihování části materiálu)
- prostřihování (částečné vystřihávání materiálu)
- nastřihování (částečné nastřihávání materiálu)
- přistřihování (dosažení přesnějších tvarů)
- přesné vystřihování
- přetrhávání a vysekávání (oddělování materiálu výsečníkem na podložce)

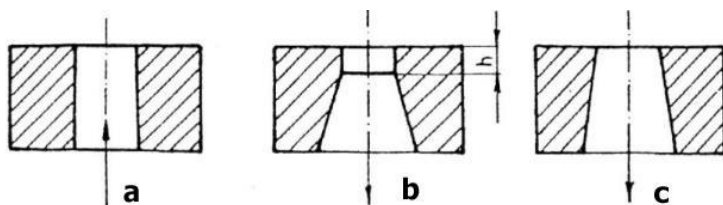
Stříhání ve stříhadlech:

Je to nejrozšířenější způsob výroby výstřižků. Základní operace jsou děrování a vystřihování

Stříhadlo je střížný nástroj - nástroj na vyhotovení výstřižku konkrétního tvaru a rozměrů (obr. 9.1, obr. 9.2).



Obr. 9.1 Střížný nástroj, z - střížná vůle, m_s - střížná mezera, 1. střížník, 2. střížnice, 3. stříhaný materiál (pás plechu), 4. vystřihnutý materiál (výstřížek)



Obr. 9.2 způsoby odstraňování odpadu, a - vyhazovačem, b, c - přeřadem

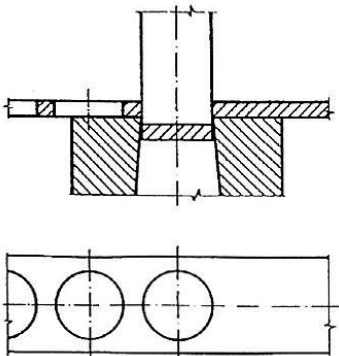
Střížný proces je možné rozdělit na tři základní fáze:

- **pružná fáze** - na začátku působení střížného nástroje na stříhaný materiál vzniká v materiálu pružná deformace do okamžiku, kdy napětí v místě stříhu dosáhne hodnoty meze kluzu R_e , tato fáze činí 5 - 10 % tloušťky stříhaného materiálu
- **tvárná fáze** - po překročení meze kluzu R_e v místě stříhu se napětí zvyšuje do meze pevnosti ve smyku, tato fáze činí 10 - 25 % tloušťky stříhaného materiálu
- **fáze porušení** - po překročení napětí na mezi pevnosti ve smyku vznikají v stříhaném materiálu mikroskopické a později makroskopické trhliny směřující po skluzových rovinách, způsobující oddělení částí materiálu

Stříhání se může realizovat za studena nebo za tepla. Za studena se stříhají měkké materiály a plechy. Stříhání za tepla se používá při stříhání materiálů o vyšší pevnosti a větších průřezů. Stříhat můžeme: rovnoběžnými noži, skloněnými noži, kruhovými noži a ve stříhadlech.

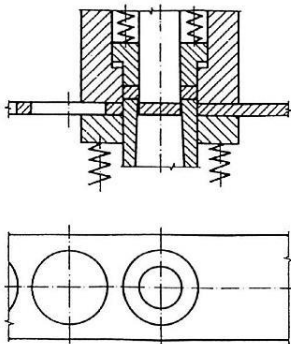
Střížné nástroje:

- jednoduchý střížný nástroj (obr. 9.3)



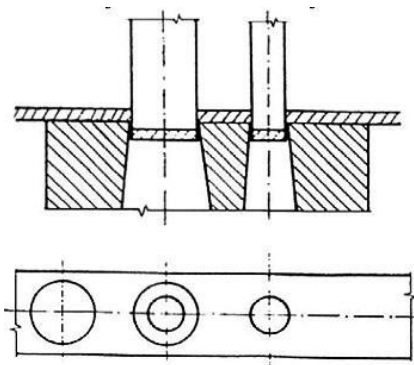
Obr. 9.3 Jednoduchý střížný nástroj

- sloučený nástroj (obr. 9.4)



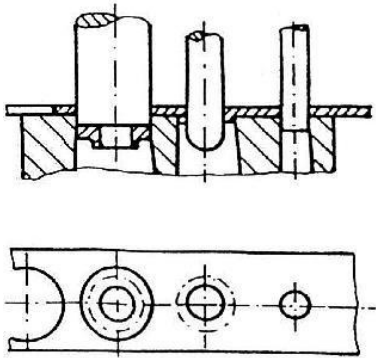
Obr. 9.4 Sloučený střížný nástroj

- postupový střížný nástroj (obr. 9.5)



Obr. 9.5 Postupový střížný nástroj

- kombinovaný nástroj (obr. 9.6)



Obr. 9.6 Kombinovaný střížný nástroj

5.2. Operace ohýbání - rozdělení a princip

Ohýbání je technologický proces, při kterém vlivem působení ohybového momentu systémem dvojice sil dochází k trvalé změně tvaru polotovaru. Ohýbání je proces, kterým dochází k požadované změně tvaru bez podstatné změny průřezu, proto patří do oblasti plošného tváření.

Výchozím polotovarem pro ohýbané součástky jsou plechy, tyče, profily. Využívají se při stavbě strojů, vagónů, automobilů, lodí.

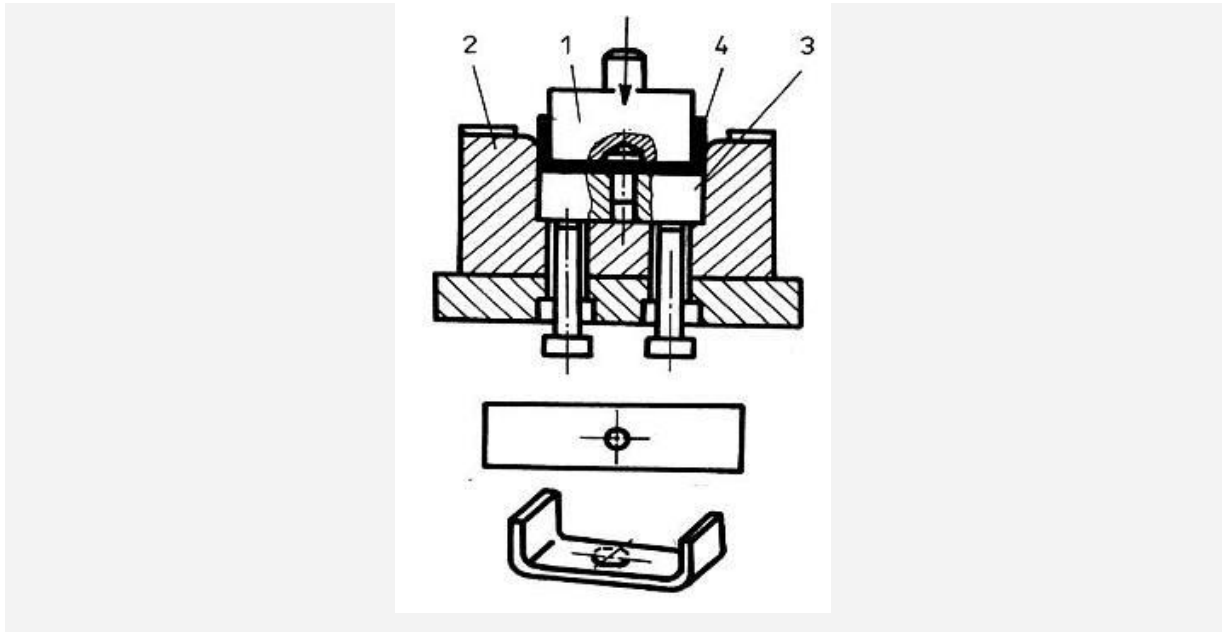
Samotný pohyb je doprovázen **zpevněním materiálu**, čímž se mění jeho **pevnostní vlastnosti** a následně i **vlastnosti ohýbané součástky**. Tyto okolnosti mají za následek snížení hmotnosti strojně-technologických celků.

Podle způsobu pohybu nástroje vzhledem ke tvářenému materiálu je možné ohýbání rozdělit do dvou základních skupin:

- **Ohýbání na lisech** - materiál se tváří v nástroji, ohýbadle, jehož pohyblivá činná část vykonává přímočaré pohyby.
- **Ohýbání na válcích** - nástrojem jsou samotné válce, které vykonávají otáčivý pohyb

5.2.1. Ohýbání na lisech

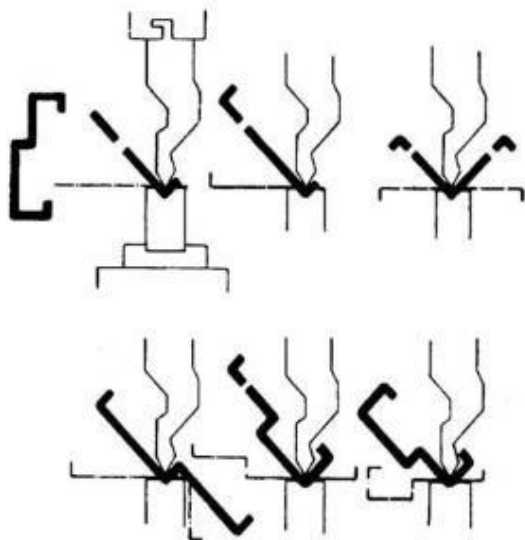
Ohýbání – směr pohybu pohyblivé aktivní části se shoduje se směrem osy úhlu tvořeného ramenem ohnutého předmětu, čára ohybu je obvykle kratší než ohýbaná ramena - obr. 7.



Obr. 7 Ohýbání do tvaru U

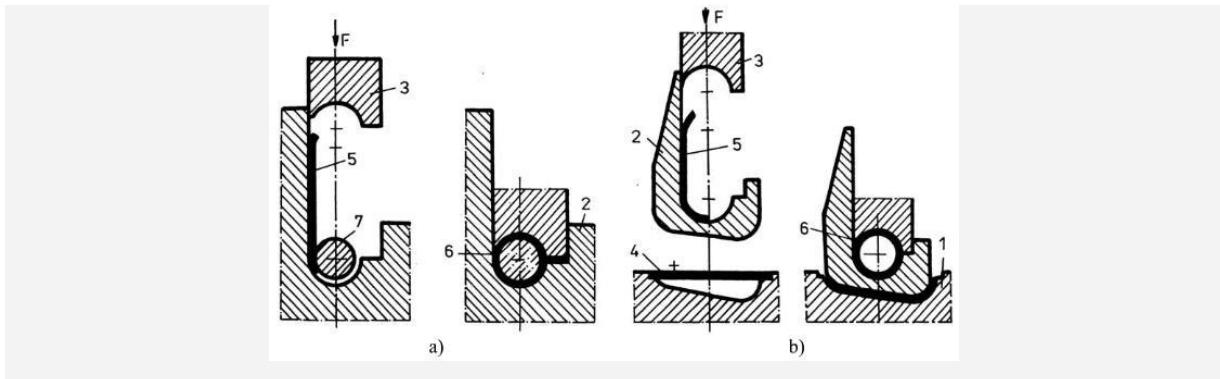
Ohybník, 2. Ohybnice, 3. Vyhazovač, 4. Ohýbaný výlisek

Ohraňování – tímto způsobem se vyrábějí postupným ohýbáním různé profily. Čára pohybu je obvykle delší než ramena ohybu – obr. 9.8.



Obr. 9.8 Ohraňování

Zakružování – na tvárěný materiál se vyvíjí tlak, vyvolávající posouvání plechu po zakřiveném povrchu pevné čelisti. Konečný tvarový efekt je tedy možné docílit v různých nástrojích s různou posloupností působení na materiál – obr. 9.9.



Obr. 9.9 Zakružování

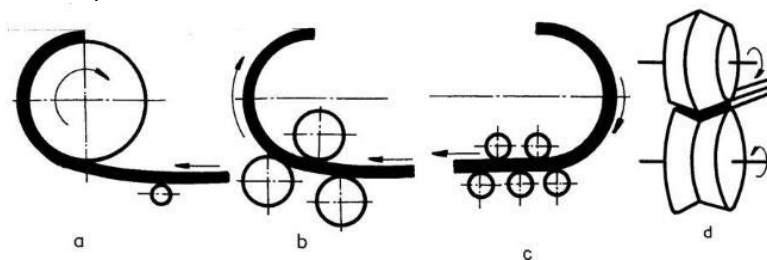
1,2 - ohybnice, 3 - ohybník, 4,5,6, - ohýbaný výlisek, 7 - trn

Lemování – se využívá k vyztužení okraje výlisku nebo na přípravu spoje

5.2.2. Ohýbání na válcích

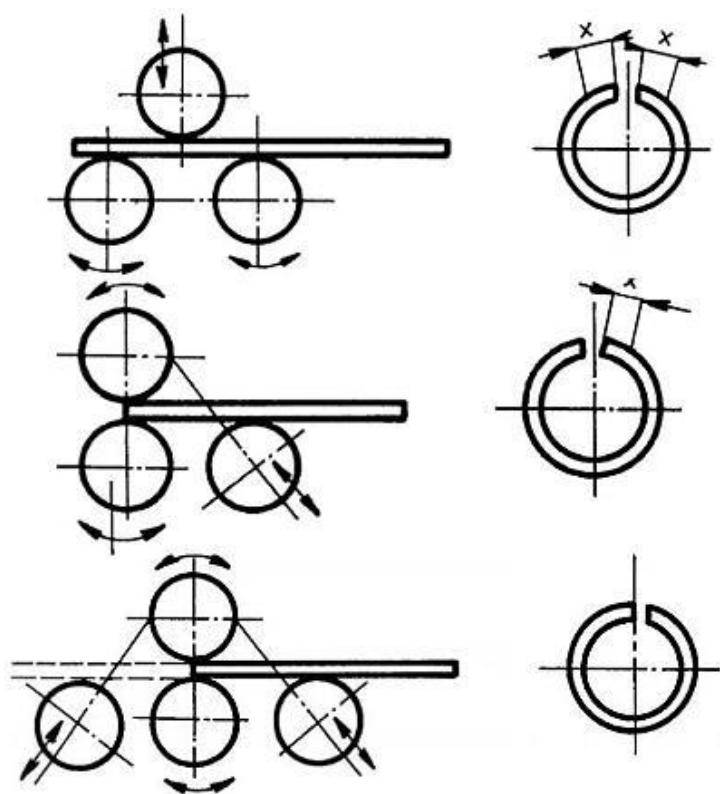
Při tomto ohýbání se místo plastické deformace postupně mění. Podle polohy roviny ohybu vzhledem k ose válce rozlišujeme tyto způsoby – obr. 9.10, obr. 9.11 :

- **příčné válcování** - rovina ohýbání je kolmá na osu válce
- **podélné válcování** - rovina ohýbání prochází osami dvou válců s příslušným profilem



Obr. 9.10 Ohýbání na válcích

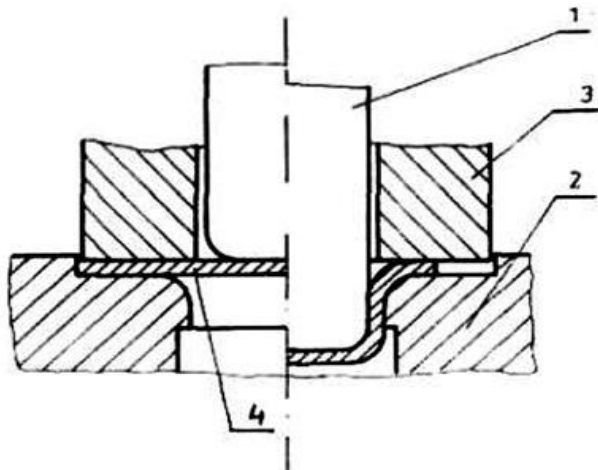
a - navíjení, b - zakružování, c - rovnání, d - podélné válcování



Obr. 9.11 Konštrukční schémata zakružovaček
trojválcová symetrická, 2. trojválcová nesymetrická, 3. čtyřválcová symetrická

5.3. Operace tažení - rozdělení a princip

Tažením nazýváme takový technologický proces, při kterém z rovinného polotovaru (plechu) vytváříme prostorová (dutá) tělesa jednoduchých nebo složitých tvarů. Těleso vyrobené tažením nazýváme **výtažek**. Výtažek je možné vytvořit v průběhu jedné nebo více operací (záleží na rozměrech a tvaru výtažku). Přetvoření rovinného polotovaru na duté těleso se realizuje v nástroji, který se nazývá tažidlo. V praxi se však častěji používá výraz tažný nástroj. Hlavní části nástroje jsou: tažník, tažnice, přidržovač (obr. 9.12).



Obr. 9.12 Tažný nástroj
1. tažník, 2. tažnice, 3. přídržovač, 4. tažený plech

Tažení je značně rozšířený technologický proces, kterým se vyrábějí součástky složitých tvarů, dostatečně tuhé s minimální hmotností.

Tažením se vyrábějí součástky používané ve všech oblastech našeho života. V domácnostech jsou tažením vyrobené všechny **kovové kuchyňské nádoby, obaly chladniček, praček, pečící trouby** apod. V automobilovém průmyslu se tažením vyrábějí všechny **díle karosérie osobních i nákladních automobilů**. Tažení jako technologická operace je také velmi používaná **při výrobě letadel, lodí, hraček, potravinářském průmyslu, elektrotechnice** apod.

Tvářecí stroje pro tažení mají odlišnou konstrukci. Tažený plech je při tažení ve většině případů nutno přidržovat, proto stroj musí mít dvě smykadla - tažné a přidržovací.

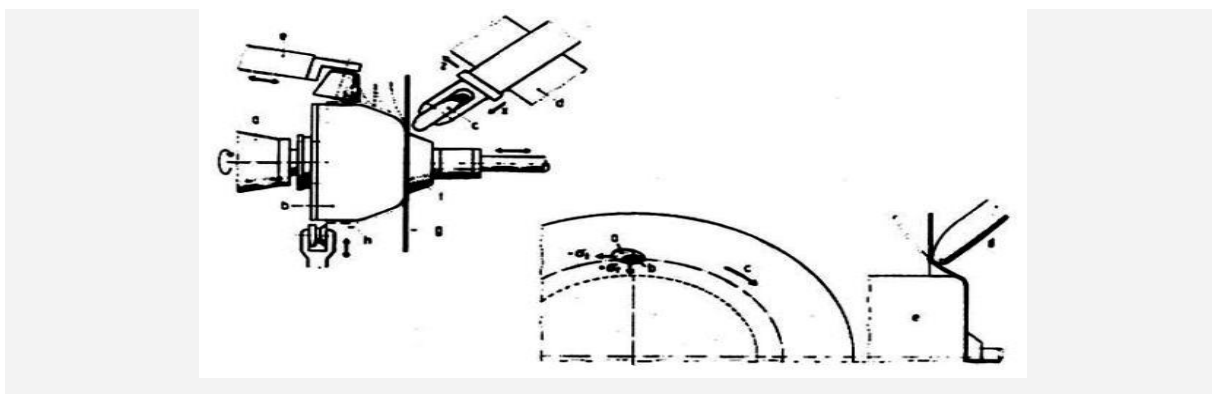
Rozdělení tažení

- tažení obyčejné
- tažení se ztenčením stěny
- tažení zpětné
- žlábkování (zvyšování tuhosti předmětu vytažením mělkých prohlubenin)
- přetahování (vytváření nábojů nebo válcových stěn obvykle pro závit)
- rozšiřování (zvětšování obvodu výtažku)
- zužování (zmenšování obvodu výtažku)
- přetahování tažidlem (zhotovení jednoduchých výtažků větších rozměrů z plechu upnutého pevně na protilehlých koncích. Pohybem tažníku se plech protahuje)

5.4. Operace tlačení a protlačování - rozdělení a princip

Tlačení nazývané i **kovotlačení** nebo **rotační tváření** je takový způsob tváření, při kterém plech nebo plechový polotovár (výtažek) se otáčí okolo osy rotace a působením tlačného nástroje se postupně posouvá od středu k okraji rotujícího polotováru. Výrobek, který vzniká kovotlačení se nazývá výtlaček. Kovotlačení je sdružený ohyb s přetvářením za rotace. Ohýbání za rotace s přidávným tlakem na malý objem vytváří jev lokalizace plastické deformace a zvyšuje tvárnosti.

I pokud je hluboké tažení do hloubky propracované, zůstává tlačení vzhledem k svojí výhodnosti a flexibilitě vhodným technologickým postupem výroby. Z hlediska sériovosti je tlačení ekonomicky výhodnější při malých a středních sériích - obr. 9.13.



Obr. 9.13 Schéma tlačení na větší počet operací tlačení

Stupeň deformace materiálu při tlačení je daný poměrem průměru přístřihu D_0 k vnitřnímu průměru vylisku d a určíme ho podle $K=D_0/d$

Při výrobě nádob tlačením se používají tyto základní operace:

- **Tlačení, kterým se přetváří rovinný plechový kotouč na dutou nádobu**, přičemž se některá část jen zužuje nebo rozšiřuje.
- **Tlačení s redukováním tloušťky**, při kterém je výchozím polotovarem výtažek vyrobený tažením, nebo kovotlačení.
- **Víceoperační tažení.**
- **Ostříhování** (zarovnávaní) okrajů polotováru (výtlačku) popřípadě vypichování otvoru ve dně.
- **Lemování** (pro zvětšení tuhosti) a zaokrouhlení výtlačku.

Tváření protlačováním je základní práce objemového tváření a používáme ji na výrobu i těch nejsložitějších výtvarků. Ve strojírenské výrobě se tato technologie realizuje většinou za studena, konečný tvar strojní součástky protlačku dává nástroj, jehož základní funkční části jsou průtlačnice, průtlačník.

Potřebnou tvářicí sílu, kterou působíme na kov prostřednictvím protlačedla, vyvozujeme lisy vhodnými na protlačování. Polotovar, který tváříme, zpracováváme za normální teploty okolí. Tento způsob nazýváme protlačování za studena. Při samotném protlačování však dochází vlivem velkých tlaků při větších rychlostech k vývinu tepla v samotné protlačené součásti, která může dosáhnout teploty až 200°C. I navzdory této teplotě se jedná o tváření za studena. Stoupá pevnost a tvrdost tvářeného kovu a tažnost klesá.

Protlačením můžeme dosáhnout velké plastické deformace (tvarové změny) bez porušení celistvosti materiálu, i když protlačování probíhá za podmínek prostorového stavu napjatosti, kde převažují tlaková napětí.

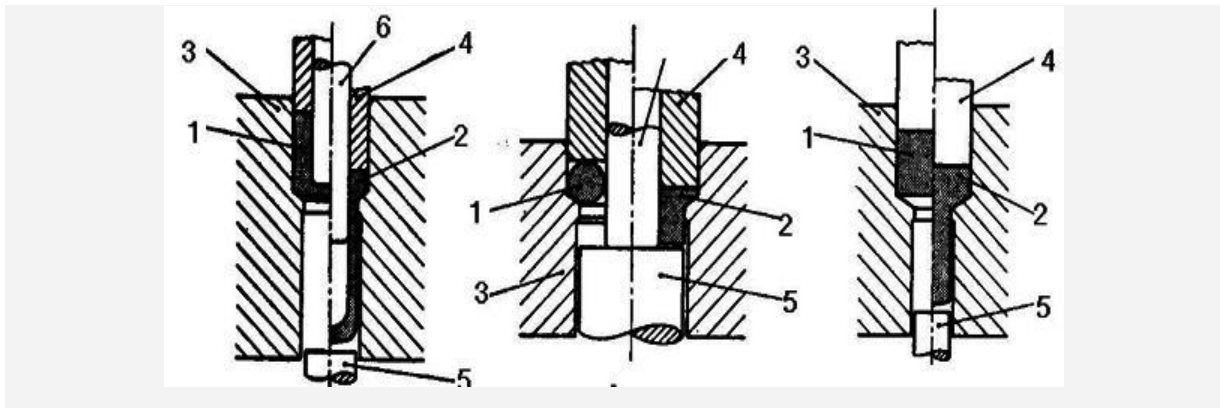
Základní způsoby protlačování:

Zpětné protlačování

Při zpětném protlačování teče materiál proti směru pohybu průtlačníku. Vložený polotovar nejprve vyplní spodní dutinu průtlačnice. Samotné dno je buď uzavřené nebo se v něm nachází vyhazovač. Průtlačník vniká do polotovaru a vytváří v něm dutinu s požadovanou tloušťkou dna „a“. Přebytečný materiál přitom teče průřezem mezikruží (mezerou mezi průtlačníkem a průtlačnicí). Zpětné protlačování se používá při výrobě nádob a pouzder.

Dopředné protlačování

Při dopředném protlačování je polotovar vložený do průtlačnice tlačeny ve směru pohybu průtlačníku. Průtlačník při pohybu do průtlačnice uzavírá jeho otvor a materiál je nucený téct ve směru průtlačníku. Konečný tvar protlačovaného materiálu je daný tvarem průtlačnice a hloubkou vniknutí průtlačníku do průtlačnice. Tento způsob se používá při výrobě průtlačků, jejichž průřez není konstantní a mění se – obr. 9.14.



Obr. 9.14 Dopředné protlačování počáteční stav polovýrobku, 2. konečný tvar průtlačku, 3. průtlačnice, 4. průtlačník, 5. vyrážec, 6. trn

Kombinované protlačování

Protlačování kombinované vzniká kombinací protlačování zpětného a dopředného. Materiál se pohybuje jednak dopředu před čelem průtlačníku a proti pohybu. Tady se řídíme zásadou, že stupeň deformace ve spodní části vytvořený na dně průtlačnice, musí být menší než v horní části, kterou protlačí průtlačník. V opačném případě by nedošlo k vyplnění dna materiálem.

Protlačování stranové

Stranové protlačování se uskutečňuje v dělené průtlačnici, aby bylo možné průtlaček vybrat z nástroje. Tlakem horního a spodního průtlačníku vniká materiál do mezery kolmo na směr působení průtlačníku. Takto se vyhotovují součástky s výstupky po obvodu.

Vtlačování

Vtlačováním se vyrábějí tváření funkční tvary dutin nástrojů za účelem výroby samotné dutiny a zvýšení její životnosti. Tímto způsobem se vyrábějí hlavně razidla.

5.5. Volné kování, zápustkové kování, kování na bucharech a lisech

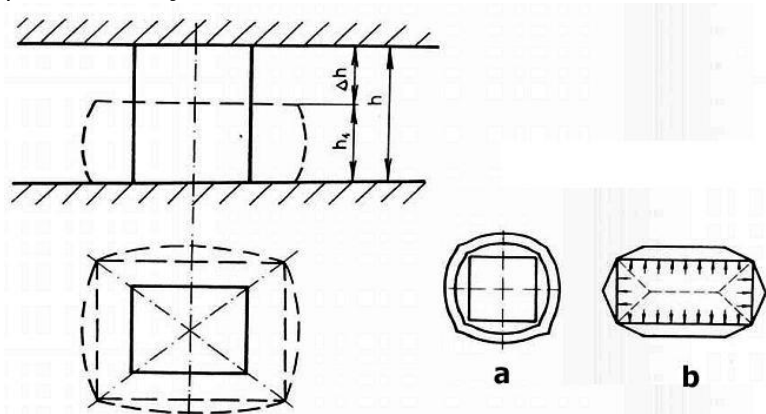
Volné kování je taková technologická operace, kterou se snažíme polotovary přiblížit tvarem i rozměrem hotové součástce.

Volné kování rozdělujeme na **ruční a strojní**. Ruční se kove na kovadlině ručními kovářskými nástroji. Materiál se ohřívá ve výhni nebo v menších ohřívacích pecích. Ruční kování se v současnosti používá velmi málo (drobné opravy a umělecké kování). Strojní kování se tvoří pomocí bucharů nebo lisů.

Pro volné kování se používají buchary. Pro kování výkovků, kde se požaduje větší hmotnost beranu, se používají hydraulické lisy. Polotovarem je válcovaný materiál nebo ingot.

Technologický proces výroby výkovků volným kovářským kovářením je různý a často značně složitý. Tvoří ho řada vhodně kombinovaných kovářských operací. Mezi základní operace volného kování patří: ubíjení, prodlužování, osazování, prosazování, děrování, sekání a ohýbání.

Ubíjení - je stlačování tvářeného tělesa, přičemž se zmenšuje jeho výška a zvětšuje se průřez kolmý k směru stlačování (obr. 9.15).



Obr. 9.15 Volné kování - schéma ubíjení a změna průřezu při ubíjení
a - čtvercový průřez, b - obdélníkový průřez

Prodlužování - je kovářská operace, při které se zvětšuje délka polotovaru při současném zmenšování jeho příčného průřezu.

Osazování - je kovářská operace, při které se vytváří náhlý přechod jedné části výkovku oproti druhé při současné změně průřezu. Při osazování se používají plochá nebo tvarová kovadla.

Předsazování - je operace, při které se předsazuje jedna část výkovku oproti druhé buď v jedné rovině, nebo ve dvou rovinách.

Děrování - je kovářská operace, při které vtláčováním trnu do polotovaru vytváříme otvor. Nástrojem je probíjecí trn, který má příčný průřez odpovídající požadovanému tvaru otvoru. Probíjecí trn může být plný nebo dutý.

Sekání - je kovářská operace, kterou se polotovar rozděluje na části, nebo se odděluje přebytečný materiál z výkovků. Nástroj pro sekání - sekáč - se zatlačuje kovadlem do materiálu a tím dochází k oddělení materiálu. Sekáč může být rovný nebo tvarový.

Ohýbání - při volném kování se provádí buď v kovadlech, nebo upnutím polotovaru mezi kovadla a volný konec ohýbáme po upnutí jeřábem buď prostřednictvím páky, nebo řetězu.

5.5.1. Stroje pro volné kování

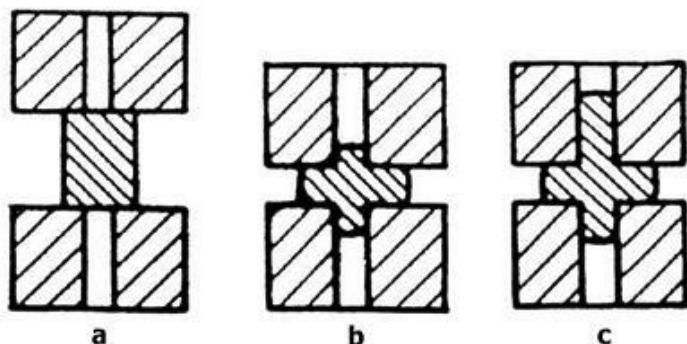
V průmyslových provozech se pro volné kování nejčastěji používají kompresorové buchary, parní buchary a hydraulické lisys.

Zápustkové kování je charakteristické usměrněním toku kovu v dutině zápustky. Zápustka je dvojdílná. Výchozí polotovar se vkládá do spodního dílu rozevřené zápustky. Působením energie tvářecího stroje se pohybuje jeden díl zápustky proti druhému, přičemž výchozí materiál vyplňuje zápustkovou dutinu. Při úplném uzavření se zaplní dutina zápustky a výchozí polotovar je přetvořený na požadovaný tvar.

Při kování se používají zápustky:

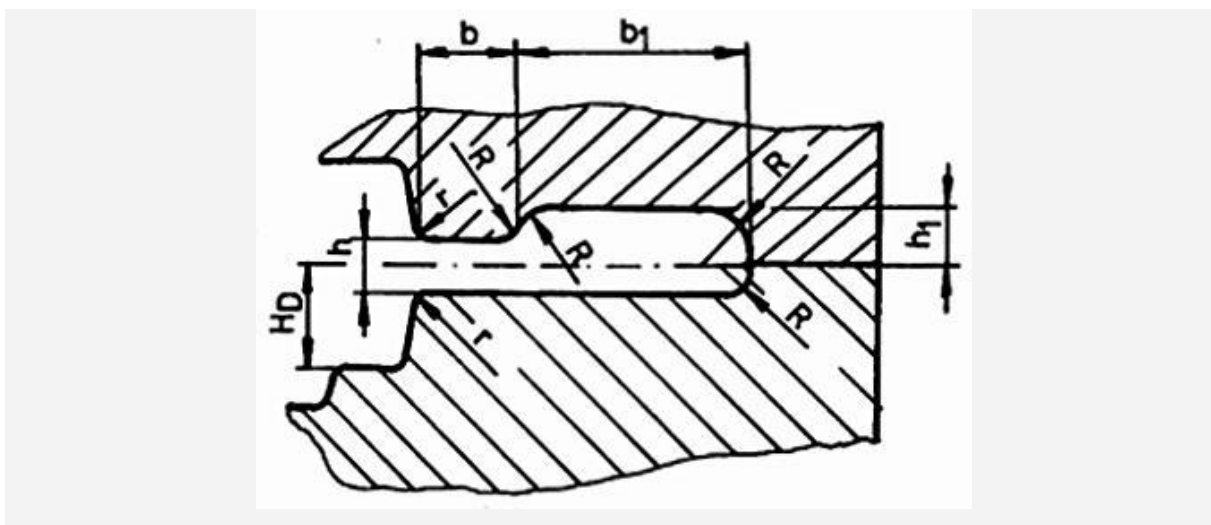
- otevřené s určitou mezerou mezi horním a dolním dílem zápustky v dělicí rovině (s výronkovou drážkou po obvodu dokončovací dutiny)
- uzavřená bez výronkové drážky, objem výchozího materiálu je rovný objemu výkovku.

Na postup zaplňování dutiny má vliv rychlost deformace, která závisí na typu použitého stroje. Rázový účinek bucharů způsobuje větší rychlost tečení materiálu v směru rázu a statické působení síly lisu způsobuje lepší zaplňování dutin ve směru kolmém k působící síle. Tyto odlišnosti při zaplňování dutiny zápustky ovlivňují volbu typu tvářecího stroje a volbu kovacích operací pro danou součástku (obr. 9.16).



Obr. 9.16 Postup zaplňování dutiny zápusťky před deformací, b- přikování na lisech, c- přikování na bucharech

Výronková drážka slouží k zachycení přebytečného materiálu a k regulaci tlaku v této kovací dutině. Přebytečný materiál po zaplnění dokončovací dutiny materiálem je vytlačený do výronkové drážky. Množství kovu, vytékajícího do výronku, závisí zejména na rozdělení objemu kovu polotovaru v dutině a na vztahu mezi tvarem vertikálního průřezu dutiny a polotovaru. Tento vztah určuje postupnost a charakter vyplňování dutiny. Při vyplňování dutiny ubíjením se vytváří menší výronek než při vyplňování dutiny vtlačováním (obr. 9.17).



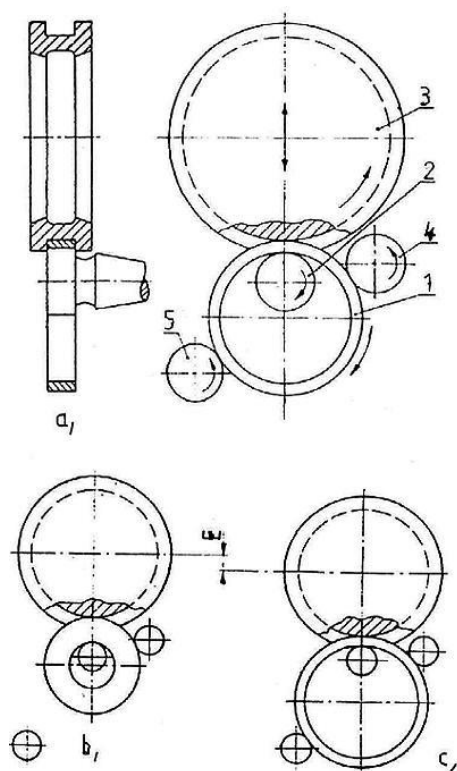
Obr. 9.17 Příklad výronkové drážky

5.6. Operace válcování - rozdělení a princip

Válcování se používá v strojírenské výrobě na výrobu plochých předkovek a hotových výkovek s opakujícím se průřezem (např. klíčů, černého náradí, kroužků různých průřezů apod.).

Válcování kroužků

Kroužky s velkým průměrem se zhotovují tvarováním volně na trnu nebo rozválcováním. Technologie válcování (rozválcování) kroužků se používá při tváření za tepla a za studena. Tuto technologii je vhodné použít ve velkosériové a hromadné výrobě, protože náklady na jednorázové válcovače zařízení jsou vysoké (obr. 9.18).



Obr. 9.18 Rozválcování kroužků

Výchozí materiál je rourka nebo sochor, který se pěchuje, kove v zápustce, děruje a potom rozválcuje. Výchozí kroužek se položí na opěrný válec (2) a pomocí přisouvajícího válce (3) se materiál zatlačuje a redukuje při současném otáčení. Vedení kroužku je zajištěné válci (2, 4 a 5). Po dosažení požadovaného průměru kontrolní válec (5) vypne pracovní zdvih válce (3) a pohon. Rozválcováním je možné vyrábět kroužky až do průměru 2500 mm.

Výhody této technologie spočívají v tom, že:

- přídavky na obrábění jsou menší, čímž se dosahuje úspory spotřeby materiálu, zmenšení času na obrábění a spotřeby energie a nástrojů
- dosahuje se zvýšení nosnosti ložisek a jiných součástí (zvýší se nosnost až o 40 %)

STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ 3

6. Rapid prototyping

6.1. Rapid prototyping

Historie: 80. léta – vyvinuta první metoda RP – STEREOLOGRAFIE

Použití metody:

- **Výroba modelu** – Rapid modeling
- **Výroba nástrojů a přípravku** – rapid tooling
- **Marketingová a kusová výroba** – rapid manufacturing

Výhody technologie

- Snížení výrobních nákladů
- Zlepšení kvality
- Vývoj výrobku a technologie
- Výroba tvarově složitých výrobků

RP umožňuje

- Ověřit funkci, design, ergonomii už v etapě vývoje výrobku

Používané materiály

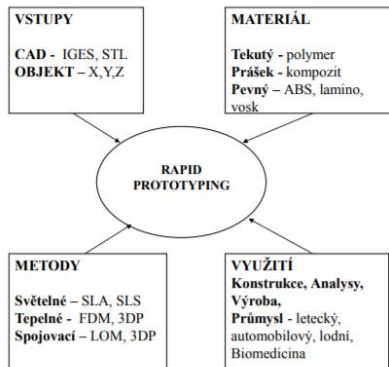
- Tekuté, práškové, polymerní, papírové,

Vývoj technologie

- Materiály s lepšími technologickými vlastnostmi
- Využití kompozitních materiálu na výrobu (plasty plněné sklenými, uhlíkovými nebo kevlarovými vlákny)
- Zvyšování přesnosti a kvality výrobků
- Snížování výrobní ceny výrobku
- Snížení ceny zařízení
- Automatizace výroby
- Úspora materiálu a energie

Definice Rapid Prototyping

- Jsou to všechny technologie, které automatizují proces pro výrobu trojrozměrných, celistvých objektů z původních materiálů.
- Skupina technologií, které umožňují výrobu modelů a prototypů komplikovaných dílů přímo z 3D dat CADů. Objekty mohou být vyrobeny z rozdílných materiálů závislých na vybavení.
-



6.2. Metody, vlastnosti a typy Rapid Prototyping

Podle výrobního postupu RP dělíme:

- Vrstvy přidávané použitím laseru
 - S vytvrzování bod po bodu
 - S vytvrzování po vrstvách
- Vrstvy přidávané bez použití laseru
 - S vytvrzování bod po bodu
 - S vytvrzování po vrstvách

Příklady

- **SLA** - StereoLitography Aparatus, tekutý akrylát bod po bodu, laser
- **SGC** - Solid Ground Curing, tekutý akrylát plošně, UV lampa
- **SLS** - Selective Laser Sintering, kompozit 2 prášků spékáný
- **FDM** - Fuse Deposition Modelling, plast ABS nanášený vytlačněním
- **LOM** - Laminated Object Modelling, laminace papíru a laser
- **3DP** - Three Dimensional Print - Tisk po vrstvách, slepování prášku

Funkce a význam prototypování

- Koncept – sdílení všech nápadů
- Vhodnost – testování rozměrů na návrhu
- Tvar – zhodnocení estetičnosti a ergonomie dílů
- Funkčnost – testování v pracovním prostředí
- Nabídka – ocenění produktu z hlediska nabídky
- Marketing – komunikace o designu se záklazníkem

Typy prototypů

- **Konstrukční prototypy:** Kontrola geometrie a montáže
- **Prototypy designu:** Zlepšení komunikace mezi partnery – kontrola návrhu
- **Funkční prototypy:** Testování a analýzy typu obtékání – modely do větrných tunelů
- **Technické prototypy:** Funkčnost, rysy

6.3. Stereolitografie

- technologie RP
- Nejpřesnější výroba složitých výrobků a modelů
- Aditivní způsob výroby (slučování, přidávání mat.)

Princip metody:

- 3D PC model se převede do požadovaného formátu
- Načítání dat do softwaru RP
- Vytvoření virtuálního modelu a jeho rozřezání a nastavení tloušťky vrstev
- Návrh podpor

Použití metody:

- Výrobky s vnitřními dutinami a složitými detaily
- Modely pro slévárství – výroba forem a nástrojů
- Náhrada voskového modelu
- Modely pro lékařsky a letecký průmysl
- Kontrola designu navrhovaného objektu
- Nevýhody
- Pomalé vytvrzování polymeru

- Malá tepelná odolnost
- Použité materiály
- Fotopolymery – reagují na světlo vytvrzením
- Akrylátové nebo epoxidové pryskyřice
- Části stereolitografického zařízení
- Pracovní komora
- Laserové zařízení
- Řídicí systém

Proces výroby

- Vytvoření 3D PC modelu
 - Tvorba modelu v CAD/CAM systému
 - Skenování z tomografu CAT
 - 3D měřicí přístroje - rozměry
 - Vytvoření pracovního STL programu
 - Přesun souboru do softwaru daného programu
 - Program připraví model k procesu výroby – tvorba pracovního programu s koncovkou STL
 - Model je rozřezán na stejné vrstvy
 - Vlastní stereolitografický proces
 - Laser generuje paprsek
 - Vykresluje plochy vrstev- vytvrzování materiálu
 - Pohyb laseru je řízen programem
 - Po vytvrzení jedné vrstvy se nanáší další
- Vytvrzování výrobku v UV peci
 - Dojde k osušení a zpevnění výrobku
- Dokončovací operace
 - Povrchová úprava
 - Je možné aplikovat plnivo, barvivo
 - Leštění povrchu
 - Drsnost povrchu 1 až 2 μm
 - Přesnost – setiny mm
- Podpory
 - Model musí zaujmout na platformě nejvhodnější polohu pomocí podpor
 - Podpory musí být umístěny tak, aby se po skončení procesu dali lehce odstranit

- Po vytvrzení se model vyjme z podpor a následuje vytvrzování v UV komoře
- Zarovnávací nůž
 - Po každém vytvrzení jednotlivé vrstvy nůž zarovná hladinu pryskyřice, aby byla dosažena stejná tloušťka další vrstvy

6.4. Selective Laser Sintering SLS

Schéma sinteringu:

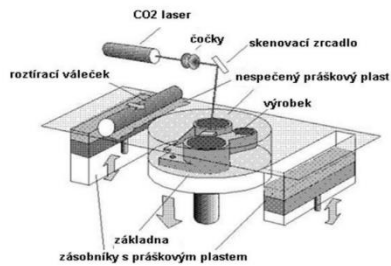
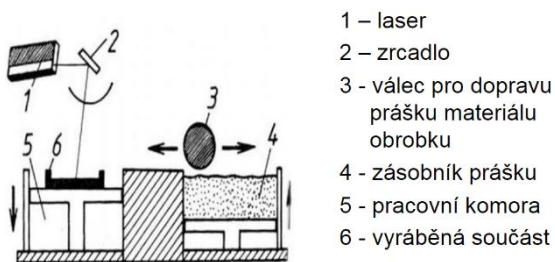


Schéma zařízení sinteringu



- Modely jsou velmi pevné
- Využívá spékání prášku pomocí CO2 laseru
- Prášek je nanášen po vrstvách na nosnou desku v interní atmosféře (dusík nebo argon)

Princip

- Laserem se materiál speče nebo roztaví a ztuhne
- Okolní – materiál tvoří podporu
- Vyrábí se po vrstvách
- Po vytvoření jedné vrstvy se nosná deska sníží

Použité materiály

- Prášek, který se působením tepla taví
- Termoplasty
- Speciální nízkotavitelné sliny
- Ocelové prášky

Výrobní zařízení

- Zásobník prášku
 - Pomocí zvedacího pístu a válce je prášek dopraven k místu vytvrzení

- Optické soustavy
 - Laser vytvrdí určitou plochu, poté se o tloušťku vrstvy posune základna dolů a proces pokračuje
- Základna
 - Platforma: je na ní umístěn výrobek

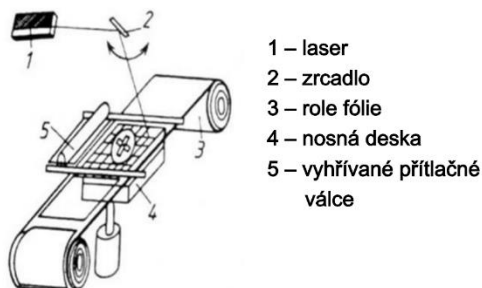
Model = výrobek

- Model je umístěn v nevytvrzeném prášku
- Po vytvrzení musí prášek vychladnout
- Z důvodu ochrany jakosti povrchu je komora naplněna inertním plynem

6.5. Laminated object manufacturing LOM

- Princip je laminování jednotlivých vrstev na sebe
- Materiál může být papír, plast, dřevo, plech
- Metoda založena na vrstvení lepivého materiálu
- Součást je vytvářena ze speciálních plastových fólií nebo z mnoha vrstev papíru napuštěných zpevňující hmotou
- Jednotlivé vrstvy jsou oříznuty do správného tvaru CO2 laserem
- Vlastnosti výrobku
 - Podobnost dřevu
 - Ruční opracování pro hladký povrch
 - Vhodné pro velké součásti
 - Nevýhoda - velký odpad

Schéma LOM:



- LOM vrstvení lepidivého materiálu
 - Vrstvení folie a lepidící hmoty
 - Materiál je odvíjen na nosnou desku
 - Laser vytvoří požadovaný tvar
 - Tlakem vyhřívaného válce se vrstvy spojí
 - Zbytek fólie se navine zpátky na válec
 - Nosná deska klesá a proces se opakuje

6.6. 3D tisk

Definice 3D tisku:

- Souvisí s technologiemi, které se vztahují k procesům nanášení inkoustových tiskáren termoplastové /termosetové polymery a vosky k vytvoření 3D pevných objektů

Používají se dvě hlavní technologie

- Výroba pomocí jedné trysky
- Výroba pomocí několika trysek

Typy materiálů

- Vosk
- Teplem tvrditelná UV pryskyřice
- Termoplastické polymery obsahující parafín, hydrokarbonové vosky a barviva
- Termoplastické polymery obsahující hydrokabróny, amidy a estery pro zvýšenou trvanlivost
- nemohou být recyklované – jedná se o vysoce přefiltrovaný produkt)

“3D printing zahrnuje ty technologie, které používají přístup tvorby dílů vrstva po vrstvě k nanesení vrstev prášku a poté následné selektivní vazbě do tvaru pevného tělesa“

Je to proces podobný Laser sintering s výjimkou že tryskání pojiva váže prášek
3D Printing používá inkjet hlavy k nanášení

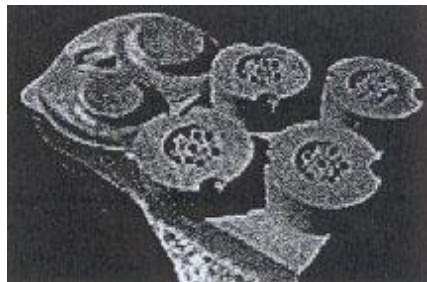
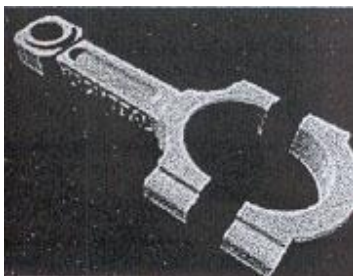
Proces tvorby dílů

- Importování STL souboru do softwarového rozhraní
- Naplnění vany práškem

- Rozprostření vrstvy prášku z vany
- Tisk pojiva na sypký prášek s tvarování prvního řezu
- Zbývající prášek podpírá vrstvy, které budou převislé
- Snížení nosné desky a rozprostření nové vrstvy po povrchu
- Proces se opakuje

3D Printing – Kovy

- Nanášení a vazba kovových prášků
- Vlastní proces je stejný, liší se post processing, kde se díly spékají v peci k odstranění pojiva a propojení kovových molekul



7. Výroba oceli

Výroba oceli je metalurgický postup získání oceli ze surového železa odstraňováním přebytečného uhlíku a dalších nežádoucích prvků jako je fosfor a síra a dodáním žádoucích prvků, např. manganu, hliníku, křemíku a dalších.

Ocel se vyrábí ve specializovaném hutním provozu, který se nazývá ocelárna.

7.1. Suroviny

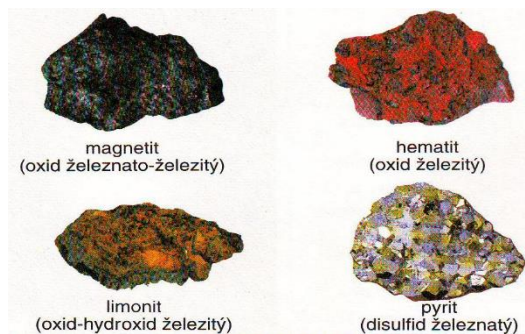
Železná ruda (je tvořena převážně kyslíkatými sloučeninami železa):

- Fe_2O_3 – krevet (hematit)
- Fe_3O_4 – magnetovec (magnetit)
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – hnědel (limonit)
- FeS_2 – pyrit

Koks (z černého uhlí) - je to téměř čistý uhlík a slouží k redukci oxidů železa

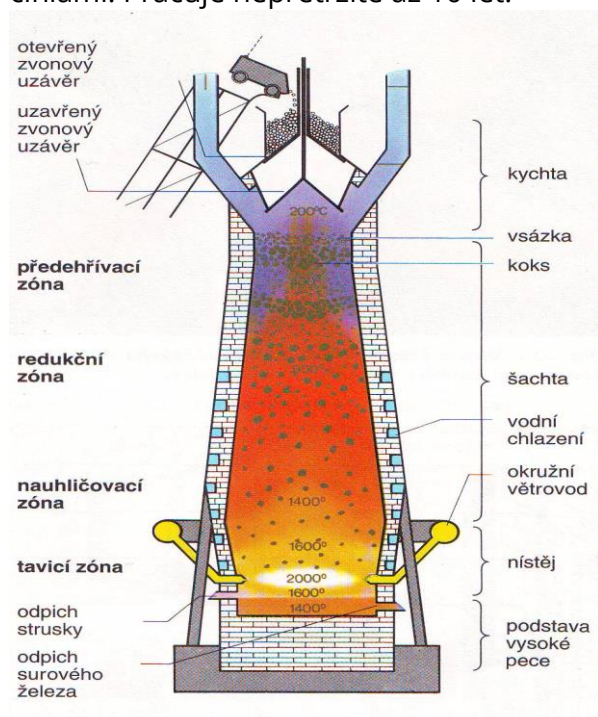
Vápenec CaCO_3 – napomáhá utvoření tzv. strusky z hornin, které doprovázejí železnou rudu.

Doprovodné horniny železné rudy se nazývají **hlušina** a z větší části se před navázkou do vysoké pece odstraňují.



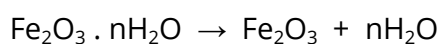
7.2. Vysoká pec

Až 40 m vysoká, 15 m široká šachtová pec z oceli, uvnitř je vyzděna ohnivzdornými cihlami. Pracuje nepřetržitě až 10 let.

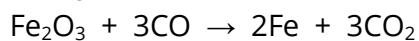
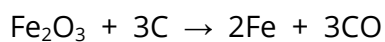


7.3. Reakce, které probíhají ve vysoké peci

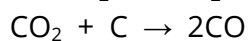
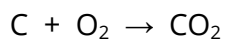
Vysoušení surovin:



Redukce železa:



Spalování koksu:



7.4. Surové železo a struska

Struska chrání povrch roztaveného železa před oxidací.

Vypouštění (tzv. odpich) surového železa a strusky ze spodní části vysoké pece se provádí vždy asi po dvou hodinách.

Surové železo obsahuje příměsi: asi 4% C, dále hlavně Mn, Si, P, S. Je velmi tvrdé, ale křehké. Odlévá se do forem (**litina**) a vyrábějí se z něj topná tělesa, části strojů, potrubí apod., ale většina se dále upravuje na **ocel**.

- Surové železo je **primární produkt** tavení železné rudy s koksem, vápencem a dalšími přísadami ve vysoké peci.
- **Má vysoký obsah uhlíku** – více jak 2,14 %, typicky i více jak 3,5 %.
- Vlivem vysokého obsahu uhlíku je tvrdé a křehké, při ohřátí na **teploty 1150°C až 1250°C** se taví bez přechodu přes tvárný stav.
- Proto ho není možné tvářit za tepla ani za studena.
- Nazývá se také **nekujné železo** a jeho přímé použití je velmi omezené.
- Jde však o výchozí materiál pro výrobu ostatních druhů technického železa.

Dělení surového železa

šedé surové železo – čím více uhlíku se vyloučí ve formě grafitu, tím má tmavší barvu, je měkčí a lépe se obrábí. Dobře se odlévá, více se proto používá pro slévárenské účely:

- ocelářské
- slévárenské:
 - šedá litina
 - tvrzená litina
 - očkovaná litina
 - tvárná litina
 - legovaná litina
 - nelegovaná litina

bílé surové železo – vyloučený cementit způsobuje jeho tvrdost, většinou se proto dále zpracovává v ocelárnách na ocel.

- ocelářské

- slévárenské:
 - bílá litina
 - nelegovaná temperovaná litina

speciální surové železo – feroslitina – kromě uhlíku obsahuje další prvky nejčastěji mangan, křemík, chróm, vanad, molybden. Používají se jako přísady při výrobě slitinových – legovaných ocelí a litin.

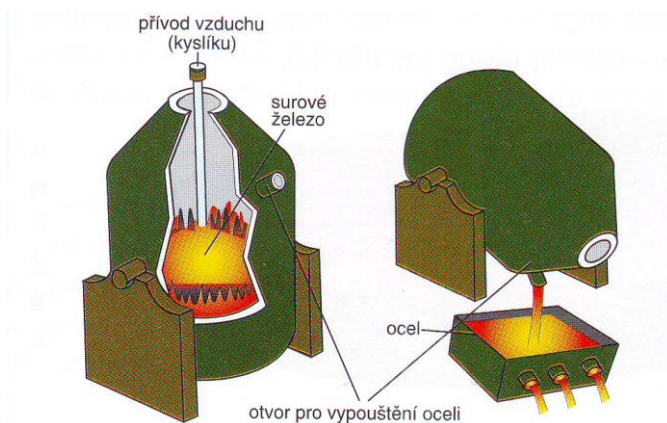
7.5. Výroba oceli

Pro zlepšení vlastností surového železa se provádí v ocelárnách tzv. **zkujňování** (to je odstraňování většiny příměsí uhlíku a dalších prvků).

Konvertorový způsob: odstraňování nežádoucích příměsí spočívá v jejich oxidaci vzdušným kyslíkem v konvertoru (speciální výklopná pec).

V nístějových pecích: k oxidaci nežádoucích příměsí dochází kyslíkem z železného šrotu nebo upravené železné rudy.

Konvertor pro výrobu oceli



Ocel

- Pomalu ochlazovaná (popouštěná) je méně tvrdá a dobře ohybatelná.
- Prudce ochlazená (zakalená) je tvrdá, ale lámavá.
- Podíl uhlíku je maximálně 1,7%.
- Čím více uhlíku ocel obsahuje, tím je tvrdší.
- Vlastnosti oceli se vylepšují také přidáním malých množství některých dalších kovů (chromu, niklu, vanadu, wolframu aj.).

Druhy ocelí

Podíl uhlíku	Uhlíkové oceli		Ušlechtilé oceli	
	Vlastnosti	Použití	Příklady	Použití
asi 0,25 %	lehce tvarovatelná	plechy pro konzervy a karoserie automobilů, dráty, hřebíky	chrom 25 % nikl 20 % křemík 0,5 %	velmi pevná: pancéřové desky
0,25 - 0,7 %	pevná a tuhá	kolejnice, osy, stavební ocel	chrom 18 % nikl 8 %	nerezavějící: nerez
0,7 - 1,7 %	velmi tvrdá	ocelová péra, čepelky, nástroje	chrom 6 % wolfram, vanad, kobalt	žáruvzdorná: ocelové obráběcí nástroje

8. Značení oceli

Značení ocelí je předepsáno normou. Jednotlivé tyče trubky nebo plechy jsou při výrobě označeny **barevnou značkou**.

Kromě barevného značení se používá **číselné značení**. Číselná značka oceli je složena ze **základní číselné značky** - pěti nebo šestimístné. Tato značka může být doplněna značkou **doplňkových číslic** - dvoumístná značka, která je od základní značky oddělena tečkou.

Značka ocelí **k tváření** 1x xxx nebo 1x xxx.xx
Značka ocelí **k slévání** 42 xxxx nebo 42 xxxx.xx

8.1. Oceli k tváření

Oceli třídy 10 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

Oceli třídy 11 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

Oceli třídy 12 – oceli konstrukční, ušlechtilé uhlíkové

Oceli třídy 13 až 16 – oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové

Oceli tříd 13 až 15 nízkolegované.
Oceli třídy 16 nízko a středně legované.

Oceli třídy 17 – oceli konstrukční, ušlechtilé vysokolegované

Oceli třídy 19 – nástrojové

Oceli třídy 10 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

nejmenší pevnost v tahu

10 x x x

třída oceli _____ pořadové číslo

Oceli třídy 11 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

1 značí ocel vhodnou k obrábění – tzv. automatová

střední obsah C v desetínách % zaokrouhlený na nejbližší celé číslo

11 1 x x
třída oceli _____ pořadové číslo

střední pevnost v tahu

11 x x x
třída oceli _____ pořadové číslo

Význam jednotlivých číslic číselné značky u ocelí třídy 12 – 16 se posuzuje stejně.

součet obsahu přísad. prvků (kromě uhlíku) v %,

střední obsah C v desetínách %. Pokud je obsah C větší jak 0,9% , je čtvrtá číslice 0

1x x x x
třída oceli _____ pořadové číslo

Oceli třídy 17 podle stupně legování označujeme jako středně a vysoko legované.

Tyto oceli jsou legovány několikanásobně větším množstvím legujících prvků, jako je tomu u ocelí třídy 13 – 16.

Ocelí třídy 17 je velké množství druhů a jsou to oceli, které můžeme označit jako **korozivzdorné, žáruvzdorné, žárovepné a speciální**. Jsou legovány hlavně chrómem, manganem, křemíkem, niklem, wolframem, titanem, vanadem a dalšími ušlechtilými prvky.

Číselná značka	Význam třetí číslice ve značce
17 0 x x	Oceli legované chromem - chromové
17 1 x x	Oceli chromové + další prvky Mo, Al
17 2 x x	Oceli chromniklové
17 3 x x	Oceli chromniklové+další prvky Ti, Nb, Mo ,V, W
17 4 x x	Oceli manganochromové nebo manganochromniklové
17 5 x x	Oceli niklové
17 6 x x	Oceli manganové
17 7 x x	Oceli manganoniklové
17 8-9 x x	Zvláštní kombinace prvků
Čtvrtá číslice značky vyjadřuje množství přísadových prvků. Pátá číslice vyjadřuje vzrůstající obsah C	

Oceli třídy 19 – nástrojové

Číselná značka	Význam třetí číslice ve značce	
19 0 x x	Nástrojové oceli uhlíkové	
19 1 x x		
19 2 x x		
19 3 x x	Oceli manganové	Nástrojové oceli slitinové
19 4 x x	Oceli chromové	
19 5 x x	Oceli chrommolybdenové	
19 6 x x	Oceli niklové	
19 7 x x	Oceli wolframové	
19 8 x x	Oceli rychlořezné	
Čtvrtá číslice značky vyjadřuje kombinaci přísadových prvků. Pátá číslice - pořadová – vyjadřuje způsob výroby oceli		

Oceli na odlitky

Číselná značka	Význam třetí a čtvrté číslice ve značce
42 26 xx	Oceli na odlitky uhlíkové
42 27 xx	Oceli na odlitky nízko a středně legované lité do pískových forem
42 28 xx	Oceli na odlitky nízko a středně legované lité jinak než do pískových forem a oceli pro permanentní magnety
42 29 xx	Oceli na odlitky vysokolegované
První dvojčíslí - 42 značí normu hutnictví Druhé dvojčíslí zařazuje oceli do skupin Třetí dvojčíslí značí u <u>uhlíkových</u> ocelí: 00 – 29 – oceli jsou odlévány jinak než do pískových forem. 30 – 99 přibližná hodnota meze pevnosti v tahu v MPa Třetí dvojčíslí značí u <u>slitinových</u> ocelí skupiny legujících prvků	

Číselná značka	Význam první doplňkové číslice
1x x x x. <u>0</u> x	tepelně nezpracovaný
1x x x x. <u>1</u> x	normalizačně žíhaný
1x x x x. <u>2</u> x	žíhaný s uvedením způsobu žíhání
1x x x x. <u>3</u> x	žíhaný na měkko
1x x x x. <u>4</u> x	kalený nebo kalený a popuštěný
1x x x x. <u>5</u> x	normalizačně žíhaný a popuštěný
1x x x x. <u>6</u> x	zušlechťený na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x x x x. <u>7</u> x	zušlechťený na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x x x x. <u>8</u> x	zušlechťený na horní pevnost obvyklou u příslušné oceli
1x x x x. <u>9</u> x	tepelné zpracování, které nelze zapsat číslicemi 0 - 8
Druhá doplňková číslice vyjadřuje stupeň přetváření materiálů	

8.2. Šedá litina

Šedé litina je směs ocelové základní hmoty, v níž jsou rozptýleny různými směry částičky grafitu.

Tvar struktury závisí nejvíce na chemickém složení a na rychlosti chladnutí litiny.

Vlastnosti litiny ovlivňuje velikost a rozložení lupínků.

Grafit může mít tvar lupínkovitý, pavoučkovitý, dokonale nebo nedokonale zrnitý.

Rozložení grafitu může být rovnoměrné, růžicovité, usměrněné, neusměrněné, smíšené.

8.3. Tvárná litina

Tvárná litina se vyrábí z šedé litiny tzv. **očkovaním**. Jedná se o přidávání hořčíku přímo do lící pánve s roztavenou litinou.

Grafit lupínkový se působením hořčíku mění na **kuličkový** – dochází k takzvané krystalizaci grafitu.

Tuto strukturu nazýváme **perlitickou** a se vznikem této struktury se výrazně mění i vlastnosti nově vzniklé tvárné litiny.

Struktura tvárné litiny: feritická, perlitická, feriticko – perlitická, perliticko – feritická

Temperovaná litina

Vyrábí se **temperováním** – **dlouhodobým žháním** bílé litiny, při němž dochází k rozkladu struktury zvané **cementit** na železo a grafit.

Vyloučí se **temperovaný grafit**, který má tvar nepravidelných zrn. Jeho přítomnost ovlivňuje vlastnosti temperované litiny podobně, jako kuličkový grafit u tvárné litiny.

Litina má v některých případech větší smrštění a zhoršenou zabíhavost, takže se nehodí pro výrobu velkých odlitků (do 100kg).

9. Neželezné kovy a jejich slitiny

9.1. Rozdělení a značení neželezných kovů

Kromě kovů, které obsahují železo jsou v technické praxi zatím nenahraditelné nebo jen špatně nahraditelné **kovy neželezné** – někdy je nazýváme **barevné kovy**.

Většina těchto kovů v čistém stavu nemá takové vlastnosti, které jsou požadovány při konstrukci součástí strojů.

Mají v čistém stavu většinou dobrou tepelnou i elektrickou vodivost, odolnost proti oxidaci – korozi, jsou však převážně měkké a mají nízkou pevnost v tahu.

Rozdělení neželezných kovů:

- **těžké neželezné kovy** a jejich slitiny (hustota nad 5kg/dm³),
- **lehké neželezné kovy** a jejich slitiny (hustota do 5kg/dm³).

Číselné značení neželezných kovů a slitin

- 42 x x x x – číslice 42 značí třídu hutnictví
- 42 3 x x x – číslice 3 značí těžké kovy a jejich slitiny
- 42 4 x x x – číslice 4 značí lehké kovy a jejich slitiny
- 42 x x x x – čtvrtá 0, 2, 4, 6, 8 –tvářené výrobky
- 42 x x x x – čtvrtá 1, 3, 5, 7, 9 –slévárenské výrobky
- 42 x x x x –skupinu těžkých nebo lehkých kovů
- 42 x x x x – šestá číslice je pořadová
- 42 x x x x. x x – první doplňková - tepelné zpracování
- 42 x x x x. x x –u odlitků způsob odlévání

9.2. Těžké neželezné kovy a jejich slitiny

Mezi těžké kovy patří:

- olovo,
- nikl,
- antimon,
- cín,
- zinek,
- kadmium,

Hlavním představitelem těžkých neželezných kovů a poměrně nejvíce užívaným neželezným kovem této skupiny je měď a její slitiny

9.3. Měď a slitiny mědi

- Teplota tavení 1083 °C.
 - Hustota 8,96kg/dm³.
- + Má šestinásobně větší tepelnou a elektrickou vodivost než ocel.
+ Houževnatá.
+ Dobře se svařuje a pájí (na tvrdo i na měkko).
+ Dobrá odolnost proti korozi.
-Měkká.
- Obrobitelnost je špatná, protože se měď maže.

Rozdělení mědi:

- **měď tvářená** – přímé zpracování
- **měď slévárenská** – využívá se hlavně pro výrobu slitin.

Slitiny mědi:

- tvářené slitiny,
- slévárenské slitiny.

9.4. Bronzy

Bronzy jsou slitiny mědi s různými neželeznými kovy kromě zinku.

Bronzy můžeme zase rozdělit na **bronzy tvářené** a **bronzy slévárenské**.

Který hlavní legující prvek vytvoří s mědí slitinu, podle toho se bronzy nazývají.

- Bronzy cínové – do 20% Sn
- Bronzy červené – do 10% Sn + Pb
- Bronzy olověné-do 33% Pb + Sn
- Bronzy niklové
- Bronzy hliníkové

9.5. Mosazi

Mosazi jsou slitiny mědi se zinkem a dalšími kovy. Pokud by mosazi obsahovaly méně jak mosazi s obsahem přes 80% Cu se nazývají **tombaky**.

Nejlépe slévatelné při 60% Cu.

Nejlépe tažné jsou při 70% Cu.

Označení značkami Ms 70 – kde číslo vyjadřuje Cu v %. např. Ms 85, Ms 90 jsou **tombaky**.

Mosazi automatové např. Ms 63 Pb jsou mosazi s přísadou olova

Mosazi slévárenské se označují **Ms L 60** – kde číslo značí % Cu.

9.6. Olovo a jeho slitiny

- Hustota 11,34 kg/dm³,
 - Teplota tavení 327 C.
- + Dobře slévatelné
+ Dobře obrobitelné kromě pilování
+ Odolné proti korozi a chemikáliím
- Měkké

9.7. Nikl a jeho slitiny

- Hustota 8,9 kg/dm³
- teplota tavení 1453 °C,
- elektrickou vodivost má 4x nižší jako měď ale lepší než ocel.
- Dobrá slévatelnost, pájitelnost i svařitelnost
- Velmi dobrá odolnost proti korozi.
- Feromagnetický do teploty 356 °C.
- Žárovevný 800 °C (+ Cr až 1300 °C)

- Užívá se nejčastěji jako legující prvek při výrobě různých druhů ocelí, zvláště třídy 17.
- Při výrobě alkalických akumulátorů, jako kladná deska,
- v potravinářském, chemickém, průmyslu k výrobě chirurgických nástrojů
- k ochraně kovů před korozi – niklováním

9.8. Zinek a jeho slitiny

- hustota 7,13 kg/dm³,
- teplota tavení 419 °C,
- elektrická vodivost je o málo větší jako u niklu, má dobrá slévateľnost i pájitelnost.
- Mechanické vlastnosti se mění s teplotou
 - při normální teplotě je Zn křehký,
 - při teplotě 100 - 150 C je kovatelný – tvárný,
 - při zvýšení teploty na 200 C ztrácí tvárnost a je opět křehký.
- Jeho odolnost proti korozi je různá.
- **Výroba** zinku dříve podobnou technologií jako měď. V současnosti elektrolyticky 99,99%.

9.9. Cín a jeho slitiny

- Hustota 7,3 kg/dm³,
- teplota tavení je 232 °C,
- elektrická vodivost je poměrně nízká
- Odolnost proti korozi je velmi dobrá.
- Cín má 2 modifikace.
- **modifikaci β** v níž se vyskytuje převážně. Je to modifikace zvaná **bílý cín**.
- **modifikace α** zvaná šedý cín, což je šedý prášek. Při dlouhém podchlazení pod teplotu 13 °C a nižší začne **modifikaci**
- Přejchod z modifikaci β na modifikaci α **cínový mor**.

9.10. Kobalt

- Hustota 8,9 kg/dm³,
- teplota tavení je 1495 °C.
- Užívá se jako přísadový kov do ocelí,

- Zvyšuje žárovzdornost a žárovevnost ocelí až na teploty 800 - 850 °C.
- výroba leteckých tryskových a raketových motorů, legující prvek u rychlořezných ocelí, výrobě **slnutých karbidů**

9.11. Wolfram

- Hustota 19,3 kg/dm³,
- teplota tavení velmi vysoká - 3380 °C.
- Elektrická vodivost je poměrně dobrá (cca dvojnásobná jako u oceli).
- Pevnost v tahu 1100MPa.
- Velká tvrdost 200HB.

Součástí, které pracují při vysokých teplotách legující prvek do žáruvzdorných a žárovevných ocelí, přidává se do nástrojových ocelí – tvrdé karbidy výrobě slnutých karbidů a výrobků práškové metalurgie.

9.12. Molybden

- Hustota 10,2 kg/dm³,
- teplota tavení 2630 °C.
- Elektrická vodivost menší jako u wolframu.
- Pevnost 700MPa
- Tvrdost 150HB

Vytváří žárovevné a žáruvzdorné slitiny.

Legující prvkem při výrobě ocelí pracujících při vysokých teplotách, ocelí nástrojových - pro výrobu velmi kvalitních řezných nástrojů,

V práškové metalurgii značně tepelně a mechanicky namáhaných výrobků.

9.13. Chrom

- Hustota 7,14 kg/dm³,
- Teplota tavení je 1910 C,
- Velmi odolný proti korozi i silným chemikáliím.
- Je i žárovevný a žáruvzdorný
- Křehký

legující prvek při výrobě konstrukčních, korozivzdorných i nástrojových ocelí.

Ochrana ocelí proti korozi.

Dekorační povrchy automobilního průmyslu.

9.14. Lehké neželezné kovy a jejich slitiny

- hliník – **Al** a slitiny
- titan – **Ti** a slitiny
- hořčík - **Mg** a slitiny.

Jsou užívány při výrobě ocelí i neželezných slitin.
Výrazně ovlivňují mechanické a další vlastnosti.

9.15. Hliník a jeho slitiny

- Hustota 2,7kg/dm³,
- Dobrá vodivost elektrická i tepelná (60% vodivosti mědi)
- Dobrá tvárnost a svařitelnost (+Si).
- Odolný proti chemikáliím a proti korozi.
- Tváření při teplotách 450 - 500 C.

Změna mechanických vlastností =Al+Cu; Mg; Si; Mn; Zn...

Výroba Al

- Přítomnost hliníku v rudách přes 8%.
- Vyrábí se téměř výhradně z tzv. **bauxitu**.
- Chemickou cestou se získá oxid hlinitý Al₂O₃.
- Elektrolýza - získáme Al čistoty 99,3% až 99,8%,
- **Pásmová rafinace** Al až 99,999%.
- Odlévání do tzv. housek, ingotů, bloků nebo desek.

Rozdělení Al

- Podle počtu tavení:
 - Hliník prvního tavení -přímo ze surovin.
 - Hliník druhého tavení -přetavením hliníkových odpadů.
- Podle využití:

- Hliník a slitiny tvářené
- Hliník a slitiny slévárenské nebo hutnické

Slitiny hliníku tvářené

Nejnámější slitina Al – Cu4 – Mg -dural.

- Ve vytvrzeném stavu pevnost 400 MPa.
- Malá odolnost proti korozi, povlakuje se hliníkem.

Al – Cu4 – Mg1- **superdural**

- Pevnost nad 500MPa.

Obě tyto slitiny slouží k výrobě tyčových profilů a plechů a využívají se v leteckém průmyslu.

Al + Cu + Ni

- Stále mechanické vlastnosti i při vysokých teplotách.
- Pevnost 400MPa
- výroba součástí spalovacích motorů, jako jsou písty nebo ojnice.

Al + Mg s obsahem Mg od 2 do 8% **Hydronalium**

- odolné proti korozi,
- Přes 400MPa
- využívají se v leteckém průmyslu

Al + Mn

- dobrá korozní odolnost
- výroba nádrží v potravinářském nebo chemickém průmyslu.

Slitiny Al + Sn

- výroba kluzných ložisek. Al – Sn20,
- plátuje se do ocelových kluzných ložisek ve formě tenkých pásků, jako **výstelka**.

Slitiny hliníku slévárenské

- Teplota roztaveného kovu 700 - 750 C.
- Lijí se do písku, forem kovových – **kokil** i pod tlakem.

- legujícím prvkem u těchto slitin je Si – křemík

Silumin Al Si13 s malým množstvím hořčíku,

- teplota tavení 577 C,
- před litím se **očkuje Na**.
- výrobu leteckých nebo vznětových motorů.

9.16. Hořčík a jeho slitiny

- Jeho hustota 1,74kg/ dm³.
- Málo odolný vůči povětrnostním vlivům.
- Zvláště málo proti mořské vodě.
- Mg má velkou afinitu ke kyslíku proto je využíván jako dezoxidovadlo, -svařování v ochranné atmosféře CO₂.
- Ochrana proti korozi **chromatováním** - moření v roztoku dvojjchromanu draselného nebo sodného a kyseliny dusičné. -povlak sloučenin chromu.
- Svařování slitin Mg je obtížné.
- Pájení není možné vůbec.
- Spojování se provádí nejčastěji nýtováním.
- Hořčík je možno vyrábět z mořské vody 0,14%.
- Další suroviny **magnezit a dolomit**.
- Vyrábí se **elektrolýzou** při teplotách 700 - 750 °C
- **Rafinace** nebo **silikotermickou redukcí** dolomitu křemíkem při teplotě 1200 °C.

Slitiny hořčíku

Do slitin hořčíku se přidává vždy mangan, který zlepšuje odolnost proti korozi a vznítivosti slitiny.

Elektron Mg+3-10%Al+Zn+Mn.

- Hustota 1,8kg/dm³.

Při obrábění slitin hořčíku je nutná dobrá protipožární ochrana – hrozí nebezpečí vznícení, zvláště tam, kde vzniká prach při jeho broušení.

Slitiny Mg jsou velmi dobře obrobitelné, volíme ty největší rychlosti obrábění

9.17. Titan – Ti

- Hustota 4,5kg/dm³
- mechanické vlastnosti podobné jako ocel.
- nemagnetický.
- Vysoká odolnost proti korozi.
- Je odolný i proti kyselinám a louchům.
- Je dobře svařitelný el. obloukem i el. odporem.
- Obrobitelnost však není příliš dobrá.
- Zpracovává se kováním, válcováním na výkovky, vývalky a plechy.
- Jeho dobré mechanické vlastnosti určují použití titanu a jeho slitin.
- Velké využití nachází v leteckém průmyslu a ve zdravotnictví, kde se vyrábí z titanu a jeho slitin
- kostní náhrady.
- Jednou z mála nevýhod titanu je jeho vysoká cena. Je velmi důležitým legujícím prvkem při výrobě oceli. Pevnost slitin titanu je větší jako u čistého Ti.

Slitiny titanu

Slitiny α obsahují vždy hliník, kterého bývá až 8%. Dalším legujícím prvkem bývá Sn. Jsou velmi dobře svařitelné. Kováním se z těchto slitin dělají např. lopatky parních turbin.

Slitiny β obsahují Al a další prvky jako **Cr, V, W, Mo**, a další. Tyto slitiny dosahují po vytvrzení pevnost až 1150MPa. Používají se pro součásti motorů, v leteckém a farmaceutickém průmyslu.

9.18. Speciální slitiny neželezných kovů

Tyto slitiny slouží k výrobě kluzných ložisek jejich kluzné části – pro výrobu výstelek, vylévání pánví kluzných ložisek a k výrobě pájek.

Pro výrobu kluzných ložisek rozeznáváme dvě skupiny slitin. Jsou to **slitiny těžkotavitelné a slitiny lehkotavitelné.**

Mezi slitiny **těžkotavitelné** patří bronzы cínové, červené, olověné a další – užívají se pro výrobu kluzných ložisek, ale mají ještě další.

Slitiny užívané pouze pro výrobu kluzných ložisek nazýváme kompozice. Kompozice jsou slitiny neželezných kovů, kde základním kovem je buď cín, nebo olovo. Kompozice jsou slitiny s velmi dobrým součinitelem smykového tření.

Kompozice cínové – základním kovem cín (85%) a další kovy, jako antimon Sb, do 10% a Cu.

Kompozice olověné – olovo (75%) a dále antimon do 15% a cín do 10%.

Pájky jsou slitiny neželezných kovů využívané jako přídavný materiál při pájení materiálu.

Podle teploty tavení dělíme pájení i pájky.

- Pájky s teplotou tavení **do 500 °C** jsou **pájky měkké**.
- Pájky s teplotou tavení **nad 500 °C** zhruba do **950 °C** jsou **pájky tvrdé**.

Měkké pájky jsou slitiny cínu s olovem, cínu se zinkem případně mědí, olova s mědí a stříbrem atd.

- Sn40Pb s teplotou tavení 185-225 °C
- Sn70Zn s teplotou tavení 200-320 °C.

Pájky tvrdé

- **mosazné** k pájení ocelí, mědi **stříbrné** k pájení mědi, mosazi, bronzů a k pájení spojů v elektrotechnice.
- Ag45CuZn s teplotou tavení 680-740 °C
- Ag28CuZnMnNi s teplotou tavení 680-860 °C.

10. Prášková metalurgie

10.1. Historie

- Zhotovování nástrojů a zbraní např. u některých afrických kmenů.
- Zpracování spočívalo v rozmělnění rudy a zbavení hlušiny.
- Po smíšení s dřevěným uhlím se směs ve zvláštní peci přeměnila na železnou houbu.
- Po opětovném rozmělnění a vyčistění se prášek spékal v uzavřené hliněné nádobě.
- 19. stol. – v Rusku ražení peněz z platiny (použita platinová houba)

10.2. Proč prášková metalurgie?

- Prášková metalurgie umožňuje získat výrobky se speciálními vlastnostmi (např. žárupevností, otěruvzdorností apod.).
- Výrobky s vysokou pórovitostí a výrobky tvořící přechod ke kompozitům, které jinými technologiemi nemůžeme vyrobit.
- Prášková metalurgie zahrnuje jednak výrobu prášků, jednak jejich zhutňování (obvykle lisováním a slinováním) do konstrukčních materiálů nebo součástí.

10.3. Prášky

- **Prášky** jsou charakterizovány fyzikálními (distribuce a velikost částic, tvar a morfologie povrchu, tvrdost, atd.) a technologickými vlastnostmi (lisovatelnost, tekutost, sytný objem, atd.).
- Podle způsobu výroby mohou mít prášky různý tvar (kulový, lístkový, nepravidelný, zrna zaoblená, atd.).
- Prášky je možno vyrábět fyzikálními, fyzikálně-chemickými, chemickými nebo elektrochemickými způsoby.
- Z ekonomického hlediska má největší vliv cena prášku.
- Vhodně upravené prášky se zpravidla lisují do požadovaného tvaru a získaný tvar se následně zpracovává spékáním, aby se dosáhlo potřebných fyzikálních a

mechanických vlastností.

- Největší výhodou práškové technologie je vysoké využití kovu při nižší spotřebě energie, snížené pracnosti a nákladech, čistota prostředí. Další výhodou je isotropie mechanických vlastností.

Výrobní postup technologie práškové metalurgie

Výrobní postup se skládá z několika etap:

- výroba prášků
- úprava prášků
- lisování prášků
- spékání čili slinování výlisků z prášků
- konečná úprava výrobků.

10.4. Užití technologie práškové metalurgie

Tato technologie se používá v případech, kdy

- není možno dané materiály zpracovat jinou technologií, jako například v případech spojování komponent, které se spolu neslévají
- je tato technologie hospodárnější než jiné, jako například při zpracování materiálů s vysokým bodem tavení nebo při sériové výrobě drobných součástí
- tato technologie dává lepší výsledky než technologie ostatní, jako například při požadavku vysoké čistoty materiálů, požadavku dosažení přesného chemického složení nebo potřeby dosažení zvláštní struktury (poréznost).

Nevýhodami práškové metalurgie jsou

- menší hutnost a tím i pevnost a houževnatost vyrobených materiálů
- vysoké náklady na nástroje.

Zhutňování kovových prášků

- Velikost stykové plochy částic práškového kovu bude záviset na stupni a kvalitě vazby mezi jednotlivými částicemi – stupni konsolidace.
- U plně konsolidovaného tělesa se dotýkají všechny práškové částice navzájem po celém povrchu (stejně jako u tuhých těles), ale v sypkém stavu je velikost kontaktů jen velmi malou částí celkového povrchu všech částic.

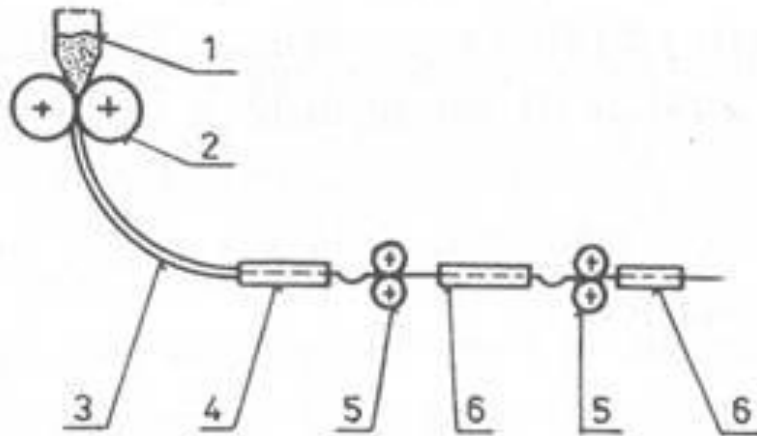
- Hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností budou vzrůstat v závislosti na zvětšování kontaktních ploch částic.
- Stupeň konsolidace **práškového tělesa** zpravidla zvyšuje působením tlakových sil nebo spékáním, ve většině případů oběma způsoby.

Lisování

- Těleso z práškových kovů má objem jednak pevných částic a jednak mezer (pórů).
- Objem mezer je závislý na způsobu lisování a velikosti lisovacího tlaku. Při stlačování prášku v dutině nástroje působí vnější (mezi práškovým materiálem a stěnou dutiny lisovací formy) i vnitřní tření (tření mezi částicemi).
- Tření, které je možné snížit použitím mazadel, má za následek nerovnoměrné rozdělení hustoty ve výlisku.
- Podle směru působícího tlaku rozdělujeme lisování na jednosměrné, obousměrné a izostatické.
- Při jednostranném lisování je nejvyšší hustota v oblasti pod lisovníkem, při oboustranném lisování je nejnižší hustota ve středu výlisku.
- Při izostatickém lisování je prakticky odstraněno vnější tření a výrobek vykazuje rovnoměrnou hustotu.
- Následuje spékání.
- Ke snížení pórovitosti se může lisování i spékání vícekrát opakovat.
- Lisovací tlaky se pohybují od 50 do 1800 MPa a pórovitost je 50 až 8 %.
- K lisování se používají mechanické nebo hydraulické lisy.

Válcování

Válcováním se vyrábějí polotovary ve formě pásků, tyčí, plechů, apod. Prášek je plynule dodáván ze zásobníku do mezery mezi válci, kde je třecími silami unášen a tlakem válců stlačován. Princip je znázorněn na obrázku. Poměrně pevný a ohebný pás je veden do spékací pece. Podle požadované hustoty se může válcování i spékání vícekrát opakovat. Vhodnou konstrukcí násypky je možno vyrábět i vícevrstvé polotovary.



*Schéma výroby polotovarů válcováním práškových kovů
1 – násypka, 2 – dvouválec, 3 – skluz, 4 – spékací pec, 5 – dvouválec, 6 – žíhací pec*

Kování

- Kováním se dosahuje lepších mechanických vlastností a odstraňuje se zbytková pórovitost.
- Výchozím polotovarem může být buď vylisek, který se spéká v průběhu ohřevu na tvářecí teplotu nebo spěkaný polotovar, který je možné kovat přímo po vyjmutí ze spékací pece.
- Volné kování se používá hlavně pro velké polotovary, zápustkové kování pro výrobky s vysokými nároky na přesnost. Volí se poměrně malé deformace.

10.5. Speciální způsoby konsolidace

- Lisováním za tepla, které spojuje operaci lisování se spékáním, lze dosáhnout i plné hustoty vylisků.
- Prášek je lisován poměrně nízkým tlakem při teplotách až 2500 °C v ochranné atmosféře, vakuu nebo vzduchu.
- Izostatické lisování za studena je vhodné pro tvarově složité výrobky. Vibračně zhutnělý prášek je uzavřen v tenkém elastickém obalu a vystaven postupnému hydrostatickému tlaku kapaliny až 600 MPa.
- Výhodou je vysoká hustota a izotropní vlastnosti. Izostatické lisování za tepla je vhodné pro dosažení bezporézního stavu.

- Prášek v kovovém obalu je vystaven působení tlaku a teploty. Jako tlakové médium se používá argon.
- Protlačování za tepla se používá hlavně pro AL, Mg, Ag, apod.
- Ve speciálních případech je možné použít hydroimpulzivní lisování, lisování v magnetickém poli, explozivní lisování, vstřikování, přetlačování, lití, lití se zmrazením, technologie velmi vysokých tlaků, apod.

Spékání

- Spékání je způsob tepelného zpracování zhutněných částic nebo práškového výlisku, při kterém se z pórovitého výlisku stává souvislé těleso za působení teploty a případně tlaku.
- Zvětšuje se celková plocha styku částic, snižuje se pórovitost, zvyšují se fyzikální a mechanické vlastnosti, dochází k objemovému smrštění.
- Teplota spékání se volí v rozmezí 0,6 až 0,9 teploty tavení.
- Spékání může probíhat za normálního tlaku nebo pod tlakem vnějších sil. Spékání se provádí v elektrických pecích s ochrannou atmosférou redukčních či inertních plynů nebo vakuu. Nejdůležitějšími parametry spékání jsou teplota, doba spékání a ochranné prostředí.

11. Tepelné zpracování

11.1. Účel a základní rozdělení způsobů tepelného zpracování

Správným využitím vlastností kovů a slitin lze např. snížit hmotnost stroje nebo strojního zařízení, anebo použít materiály levnější. Obojí vede ke zvýšení ekonomie výroby.

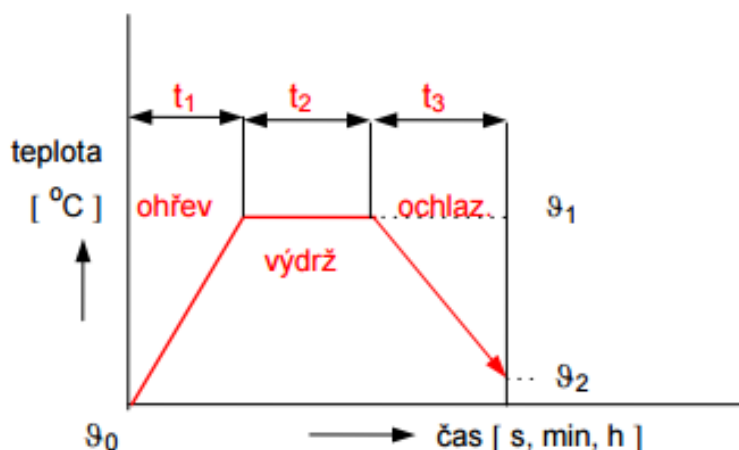
Tepelným zpracováním rozumíme všechny postupy, při nichž předmět nebo materiál v tuhém stavu záměrně ohříváme a ochlazujeme určitým způsobem tak, aby získal požadované vlastnosti.

Jedná se vždy o souhrn následujících operací:

- ohřev na určitou teplotu
- výdrž na této teplotě
- ochlazování určitou rychlostí na danou teplotu

V některých případech mohou tyto operace probíhat vícekrát za sebou za různých podmínek.

Rychlost ohřevu nebo ochlazování c se udává při vysokých rychlostech ve $^{\circ}\text{C}/\text{s}$, při malých rychlostech ve $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, popř. $^{\circ}\text{C}/\text{h}$.



I když obě rychlosti nejsou zákonitě rovnoměrné (závisí na okamžitém teplotním spádu), přesto většinou uvažujeme průměrné rychlosti, které vypočítáme:

a) při ohřevu

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$$

b) při ochlazování

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{t_3}$$

kde: ϑ_0 je výchozí teplota před ohřevem

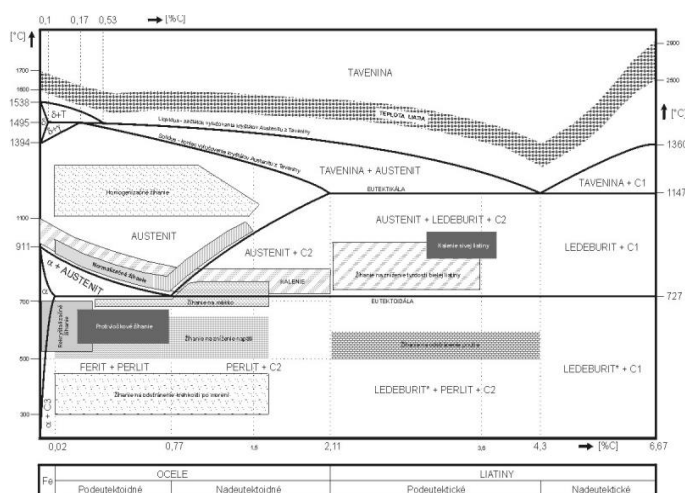
ϑ_1 je teplota ohřevu

ϑ_2 je požadovaná teplota na konci ochlazování

Tepelným zpracováním ovlivňujeme mechanické vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, tažnost, vrubovou houževnatost, odolnost proti opotřebení atd. V mnoha případech je s tím spojena změna struktury, proto se vyžaduje znalost rovnovážných diagramů a fázových změn.

Protože dosažení rovnovážného stavu při fázových změnách v tuhém stavu je zcela určováno difuzí, bude pro výsledek tepelného zpracování rozhodující, jaký vliv bude mít průběh difúze. Průběh difúze je ovlivněn jednak teplotou a jednak výdrží (dobou) na určité teplotě, při níž ještě difúze může probíhat. Právě způsob ovlivnění difúze dělí tepelné zpracování do dvou základních skupin:

- Způsoby tepelného zpracování, které difúzi spíše podporují anebo ji brzdí jen málo. Tyto způsoby nazýváme všeobecně žíháním.
- Způsoby tepelného zpracování, které difúzi podstatně brzdí nebo ji úplně zamezují. Přitom nerovnováha stavu slitiny je zpravidla tím větší, čím větší je rychlost ochlazování. Hlavním představitelem je kalení.



11.2. Žihání

Ve většině případů bývá cílem žihání:

- snížení zbytkových napětí,
- odstranění následků předcházejícího mechanického zpracování,
- zlepšení technologických vlastností (tvařitelnosti za studena, obrobitelnosti),
- zmenšení chemické a strukturní heterogenity.

Rozhodujícím technologickým parametrem žihání je teplota a doba výdrže na teplotě, když ochlazování bývá obvykle velmi pomalé. Žihací teploty jednotlivých postupů vyplývají z rovnovážného diagramu Fe-Fe₃C.

Podle teploty lze rozdělit všechny druhy žihání na:

Žihání na snížení zbytkových napětí. Účelem je snížení vnitřních napětí v materiálu při tuhnutí odlitku, chladnutí po tváření za tepla i po tváření za studena, ale i v povrchových vrstvách po třískovém obrábění. Při teplotě žihání 450 až 650 °C je mez kluzu tak nízká, že se zbytková napětí mohou vyrovnat lokální plastickou deformací. Podle velikosti, tvaru a materiálu součásti je nutná 2 až 10 h výdrž na teplotě s pomalým ochlazováním, aby se předešlo vzniku nových zbytkových napětí.

Žihání rekrystalizační. Jedná se zpravidla o mezioperační žihání při tváření nízkouhlíkové oceli za studena, které odstraňuje vzniklé zpevnění a regeneruje tvárné vlastnosti. Děje se tak ohřevem na teplotu do oblasti rekrystalizace 550 až 700 °C a vydrží 1 až 5 hodin. Tímto postupem lze i významně měnit tvar a velikost zrna, zpravidla se žihá za účelem zjemnění zrna.

Žihání na měkko.

Dochází při něm ke sferoidizaci eutektoidních karbidických částic v důsledku povrchového napětí. Změnou lamelárního perlitu na zrnitý lze u nízkouhlíkových ocelí zlepšit tvařitelnost za studena a u ocelí s obsahem nad 0,4 % C obrobitelnost. Rovněž lze žiháním připravit vhodnou výchozí strukturu pro následné kalení, zejména u eutektoidních a nadeutektoidních ocelí. Rovnoměrné rozložení zrnitých karbidů v základní feritické hmotě ulehčuje následující austenitizaci a zlepšuje celkové vlastnosti po zakalení, čehož se úspěšně využívá zejména u ložiskových ocelí. Teplota žihání je blízká eutektoidní teplotě, případně se pohybuje v jejím okolí.

Zvýšení teploty nad Ac₁ resp. její kolísání kolem této hodnoty usnadňuje a urychluje sbalování karbidických částic. Doba žihání je různá podle druhu oceli i předchozího tepelného zpracování a pohybuje se od 4 h u uhlíkových ocelí po 16 h pro vysokolegované oceli. Žihání je ukončeno pozvolným ochlazováním v peci.

Žíhání protivločkové.

Aplikuje se při nadkritickém obsahu vodíku v oceli, kdy dochází k náchylnosti tvorby vnitřních trhlin - vloček. Vločkám lze zabránit dlouhodobým ohřevem (až desítky hodin) při teplotách 650 až 750 °C, kdy v důsledku podstatného zvýšení difuzivity vodíku ve feritu se jeho obsah sníží pod kritickou hodnotu. Žíhání je nutné vykonat bezprostředně po odlévání nebo tváření za tepla (před ochlazením na teplotu okolí), kdy přítomný vodík ještě nevytváří molekuly, které už nejsou schopny difúze a tím

i vytěsňují z oceli. Po dlouhodobé výdrži na žíhací teplotě je vhodné ochlazovat alespoň do 500 °C velmi pomalu.

Žíhání pro odstranění křehkosti po moření. Při odstraňování okují mořením dochází u ocelových součástí k difúzi vodíku do kovu a následné vodíkové křehkosti. Protože při moření je pronikání vodíku do oceli omezené, dá se vodík jednoduše vytěsnit žíháním při teplotě 300 °C až 500 °C po dobu 1 až 4 h

Žíhání normalizační

Patří mezi nejužívanější postupy tepelného zpracování oceli, protože zajišťuje jemnozrnnou a rovnoměrnou strukturu po odlévání, tváření či dlouhodobém žíhání za vysoké teploty. Klasický postup se užívá výhradně u podeutektoidních ocelí, kdy při teplotě 30 až 50 °C nad AC3 a výdrži 1 až 4 h, vzniká jemná rovnoměrná austenitická struktura, která po ochlazení na vzduchu transformuje na jemnozrnnou feriticko-perlitickou strukturu s příznivými mechanickými vlastnostmi. Výjimečně se aplikuje u nadeutektoidních ocelí k získání lepší redistribuce částic sekundárního cementitu, který se v důsledku pomalého ochlazování z dokovacích teplot vyloučil ve formě síťovin na hranicích zrn. Ohřevem nad Ac_m se karbidické síťoviny rozpustí v austenitu a rychlejším ochlazováním se zabrání jeho opětovnému vyloučení na hranicích zrn.

Žíhání homogenizační.

Snižuje nehomogenitu chemického složení tlustostěnných odlitků, ve kterých došlo k výrazné dendritické segregaci. Dlouhodobým žíháním v rozsahu teplot 1 100 až 1 200 °C (obvykle asi 200 °C pod solidem) dochází dostatečnou difúzní rychlostí uhlíku i dalších prvků ke snížení odmišení a nežádoucí heterogenity. Výdrž na teplotě se řídí velikostí a tloušťkou odlitku a většinou vede k výraznému zhrubnutí zrna, což vyžaduje následné normalizační žíhání.

Žíhání rozpouštěcí.

Tímto žíháním se rozpouštějí karbidy, nitridy i další intermetalické fáze, což zvyšuje homogenitu austenitu a jeho nasycení legujícími prvky. Nejčastěji se využívá u vysokolegovaných austenitických ocelí, kde žíháním při teplotách 1 050 až 1 150 °C s

následným rychlým ochlazením, které zabrání opětovnému vyloučení fází, se získá čistě austenitická struktura.

Žihání izotermické.

Spojením tří druhů žihání - normalizačního, na měkko, na snížení vnitřních napětí, do jedné operace lze získat homogennější jemnozrnnou strukturu se zlepšenou obrobitelností. Postup začíná normalizačním žiháním, po kterém se ocel ochladí proudem vzduchu na teplotu 700 až 650 °C, při které v izotermické prodlevě probíhá rozpad metastabilního austenitu na jemný sferoidizovaný perlit. Výdrž na teplotě vyplývá ze znalosti diagramu IRA pro příslušnou ocel. Nakonec následuje ochlazení vzduchem. Proces je zvláště vhodný pro některé střednělegované oceli, které se obtížně žihají na měkko.

11.3. Kalení

Cílem kalení je zvýšení tvrdosti, pevnosti a odolnosti proti opotřebení oceli. Tyto vlastnosti nabízejí částečně nebo úplně nerovnovážné struktury, které lze získat ochlazením austenitu nadkritickou rychlostí. Podle fáze, která převládá ve výsledné struktuře, rozlišujeme kalení martenzitické nebo kalení bainitické.

Důležitým parametrem procesu je kalící teplota, při které je ocel před ochlazením austenitizována. Správná kalící teplota je u podeutektoidních ocelí asi 30 až 50 °C nad AC3, kde zajišťuje homogenní strukturu austenitu před rozpadem. U nadeutektoidních ocelí stačí ohřev jen asi 20 °C nad AC1, kdy výchozí strukturu tvoří heterogenní směs austenitu a nerozpuštěných karbidů, které po zakalení přispívají ke zvýšení odolnosti proti opotřebení. Nedodržení správné kalící teploty vede ke zvýšení nežádoucích fází v konečné struktuře (ferit) nebo ke zhrubnutí zrna, což může vést až ke vzniku kalících trhlin.

Kalitelnost je schopnost oceli dosahovat ochlazením austenitizační teploty nerovnovážného stavu.

Zakalitelnost je dána maximální tvrdostí po kalení a závisí na obsahu uhlíku rozpuštěného v austenitu. Výsledná tvrdost je ovlivněna i vyšší kalící teploty zvláště u nadeutektoidních ocelí.

Dělení kalení

- **Kalení základní** (obyčejné) je nejjednodušší, teplota klesá plynule pod M_S , kdy začne transformace austenitu na martenzit. Vznikají velká zbytková napětí, maximální deformace a proto není vhodné pro kalení tvarově složitých výrobků.

- **Kalení lomené** začíná ochlazováním nadkritickou rychlostí k potlačení perlitické přeměny (např. ve vodě) a pokračuje ochlazením v mírnějším prostředí (např. olej). Tím se zmenšuje rozdíl teplot na povrchu a ve středu výrobku a snižuje se tepelná napětí.
- **Kalení izotermické** je podobné termálnímu kalení s tím, že prodleva trvá v oblasti bainitické přeměny až do ukončení izotermického rozpadu austenitu. Tepelná i strukturální napětí jsou minimální, není nebezpečí deformace a vzniku trhlin. Nejstarším způsobem izotermického kalení je patentování, používané při výrobě drátů s vysokou pevností.
- **Kalení termální** dovoluje vyrovnat teploty v celém objemu kaleného předmětu, snížit tepelná napětí a zmenšit deformaci díky prodlevě nad teplotou *MS*. *Ochlazení v intervalu martensitické přeměny probíhá zpravidla na vzduchu. Postup je vhodný pro tenkostěnné výrobky složitých tvarů ocelí, které mají bainitickou oblast dostatečně posunutou vpravo.*
- **Kalení zrn zmrázováním** vyžaduje dochlazení ve zmrazo-vacích lázních (ochlazovaných tekutým dusíkem), které má zabránit stabilizaci ZA (zbytkový austenit) u ocelí s nízkými teplotami *MS* a *Mf*. *Aplikuje se na výrobky pracující při záporných teplotách, u měřících nástrojů a u ocelí na ložiska, kde se vyžaduje tvarová stabilita.*
- **Kalení nepřetržitě bainitické** se provádí u ocelí s bainitickou oblastí významně posunutou doleva. Výslednou strukturu tvoří směs bainitu, martenzitu a zbytkového austenitu.

11.4. Popouštění

Popouštění je způsob tepelného zpracování ocelí, který zpravidla následuje bezprostředně po kalení. Ohřevem zakalené oceli na teploty nepřevyšující AC1 dochází k rozpadu martenzitu a k přeměně zbytkového austenitu. Změny struktury a z nich vyplývající změny mechanických vlastností závisí především na výši propouštěcí teploty. Z technologického hlediska existuje:

- popouštění při nízkých teplotách (do 300 až 350 °C), které snižuje zbytková napětí po kalení, zmenšuje obsah ZA a stabilizuje rozměry,
- popouštění při vyšších teplotách (nad 450 °C), při kterém dochází k úplnému rozpadu martenzitu, což se projevuje znatelným poklesem tvrdosti a pevnosti, ale také růstem plasticity a houževnatosti.

TECHNOLOGIE LITÍ KOVŮ POD TLAKEM

1. Charakteristika tlakového lití

1.1. Podstata tlakového lití

Lití kovů pod tlakem je slévárenská technologie, při které je roztavený kov z plnicí dutiny formy dopravován působením vysokého tlaku a rychlosti do tvarové dutiny trvalé formy, kde následně vytuhne na výsledný odlitek.

Rychlost pístu působícího na taveninu se pohybuje řádově v jednotkách metrů za sekundu. Jejím působením je tavenina dopravována z plnicí komory vtokovou soustavou do dutiny formy. Přechod mezi vtokovou soustavou a vlastní dutinou formy tvoří zářez. V zářezu se rychlost proudu taveniny zvyšuje na několik desítek metrů za sekundu. Vysoká rychlost proudu taveniny způsobuje velmi krátkou dobu plnění dutiny formy, která je rovná jednotkám a desítkám milisekund. Tato metoda plnění dutiny formy umožňuje výrobu tenkostěnných, tvarově náročných odlitků s vysokou rozměrovou přesností a s přesným kopírováním povrchového reliéfu dutiny formy.

1.2. Technické a ekonomické aspekty tlakového lití

Výhody lití kovů pod tlakem:

- možnost výroby odlitků v úzkých tolerančních mezích,
- velké množství vyrobených odlitků z jedné formy,
- možnost výroby tvarově složitých a tenkostěnných odlitků,
- hladký povrch odlitků,
- nízká produkce odpadu, a tím i nižší náklady na vstupní materiál,
- možnost předlévání otvorů malých průměrů s malým dodatečným opracováním,
- lehké zalévání vložek z jiných kovů nebo materiálů,
- jemnozrnná struktura odlitku mu uděluje dobré mechanické vlastnosti.

Nevýhody lití kovů pod tlakem:

- vysoké náklady na výrobu formy,
- vysoké investice na stroje a příslušné zařízení,

- maximální velikost odlitku je omezoána velikostí samotného stroje,
- slitiny odlité pod tlakem mají menší tažnost,

- odlitky jsou do určité míry pórovité, ale tato pórovitost se dá udržet v určitých mezích,
- technologie lití pod tlakem vyžaduje určité pracovní zkušenosti, a proto vyžaduje kvalifikovaných pracovníků.

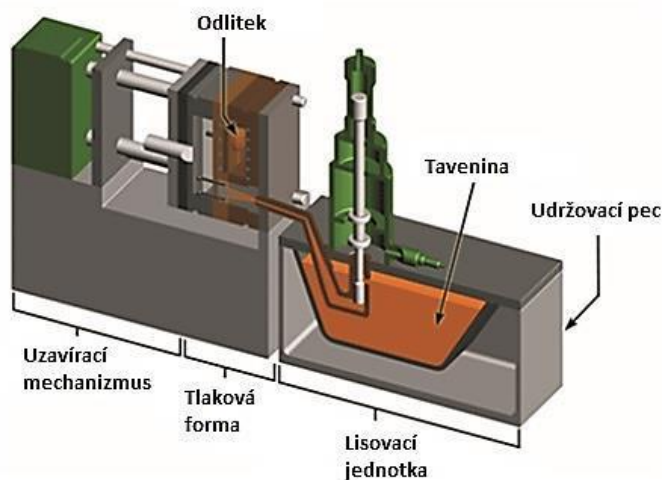
2. Tlakové licí stroje

Lití kovů pod tlakem se provádí na tlakových licích strojích, které z technologického hlediska dělíme:

- **licí stroje s teplou komorou:**
 - s lisováním kovu pístem,
 - s lisováním kovu vzduchem.
- **licí stroje se studenou komorou:**
 - s vertikálním lisovacím ústrojím,
 - s horizontálním lisovacím ústrojím.

2.1. Odlévání s teplou komorou

Na strojích s teplou komorou se odlévají nízkotavitelné slitiny, t.j. slitiny cínu, olova a zinku. Při tomto typu strojů je tavící pec součástí stroje a roztavený kov je z kelímku vytlačován přímo do formy pístem nebo zalisováním tlakovým vzduchem o tlaku 2 až 7 MPa. V obou případech se komora zužuje v hrdle a je ukončena tryskou. Tato tryska je před vstřikem přitlačena k pevné polovině formy, tj k jejímu rozpěry otvoru. Píst ve své horní, výchozí poloze nepřekrývá vtokový otvor komory a přes tento otvor zateče roztavený kov z kelímku do komory. Při pohybu pístu v komoře dochází k překrytí vtokového otvoru, čímž se zamezí samovolnému nadměrnému zatékání kovu do komory. Píst čelem tlačí roztavený kov přes trysku do dutiny formy. Následuje časová výdrž trvajíc několik sekund, během níž kov v dutině formy ztuhne na odlitek. Po tomto časovém úseku koná píst zpětný pohyb do své výchozí polohy, přičemž se opět otevře vtokový otvor komory. Ta se plní zatékáním nové dávky roztaveného kovu a současně do ní stéká tekutý kov z hrdla. Během tohoto děje se otevírá pohyblivá část formy, která s sebou unáší i odlitek. Ten je vyhazovači uvolněný a obsluha ho kleštěmi nebo zařízením odebere a uloží na paletu. Pokud je forma otevřená, dutina se ošetří postřikem maziva. Následuje uzavření formy, zařízení se vrátí do výchozího stavu a celý cyklus se opakuje.



Licí stroj s teplou komorou

2.2. Odlévání se studenou komorou

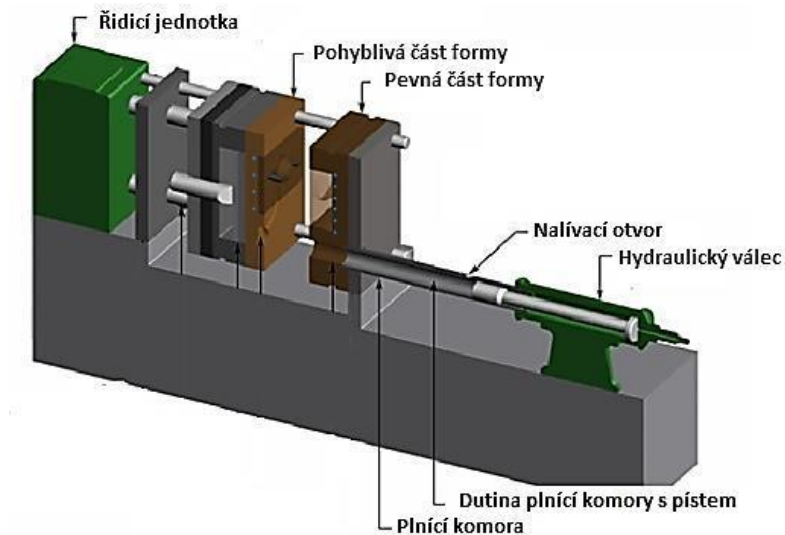
Na strojích se studenou komorou se odlévají vysokotavitelné slitiny hliníku, hořčíku, mosazi a železa. Při těchto strojích není udržovací pec s roztaveným kovem součástí stroje. Je postavena zvlášť a roztavený kov se z ní dávákuje do komory stroje před každým zalisováním.

2.2.1. Licí stroje se studenou vertikální komorou

Skládají z vertikální uloženého válce, trysky, lisovacího pístu a spodního pístu s pružinou. Píst je v základní poloze vysunutý nad komorou, do které je naléván kapalný kov. Pohybem lisovacího pístu dolů a jeho působením na roztavený kov je stlačený spodní píst, čímž se odkryje tryska a kapalný kov je přes ní vháněn do dutiny formy. Následuje časová výdrž, během níž kov v dutině formy ztuhne. Po vytuhnutí kovu je lisovací píst vysunutý do své výchozí polohy. Silou stlačené pružiny nacházející se pod spodním pístem dochází k jeho pohybu v komoře, stříhá tabletu kovu, která vznikla vytuhnutí kovu v komoře, a následně ji vyhazuje ven z komory. Následuje otevření komory, vyhození odlitku a ošetření dutiny formy postřikem maziva. Forma se uzavírá, cyklus se opakuje.

2.2.2. Licí stroje se studenou horizontální komorou

Pracují na následujícím principu: komora uložená horizontálně má otvor, do kterého se nalévá roztavený kov. V komoře se pohybuje lisovací píst. Vnitřní otvor plnicí komory musí probíhat pevnou polovinou formy až do jejího dělicí roviny. Při nalévání kovu je lisovací píst v zadní poloze tak, aby byl nalévací otvor uvolněn. Pohybem pístu v komoře je roztavený kov vytlačován do dutiny formy. Po skončení lisování a výdrže se forma začíná otevírat, přičemž píst vysouvá tabletu kovu z plnicí komory. Po skončení otevírání se píst vrátí do zadní polohy. Při otevřené formě se vyjme odlitek a dutina formy se ošetří postřikem maziva. Následně se forma uzavře a cyklus se opakuje.



Licí stroj se studenou horizontální komorou

3. Hlavní konstrukční uzly tlakových licích strojů

Stroje pro lití kovů pod tlakem musí svou konstrukcí zajistit následující operace:

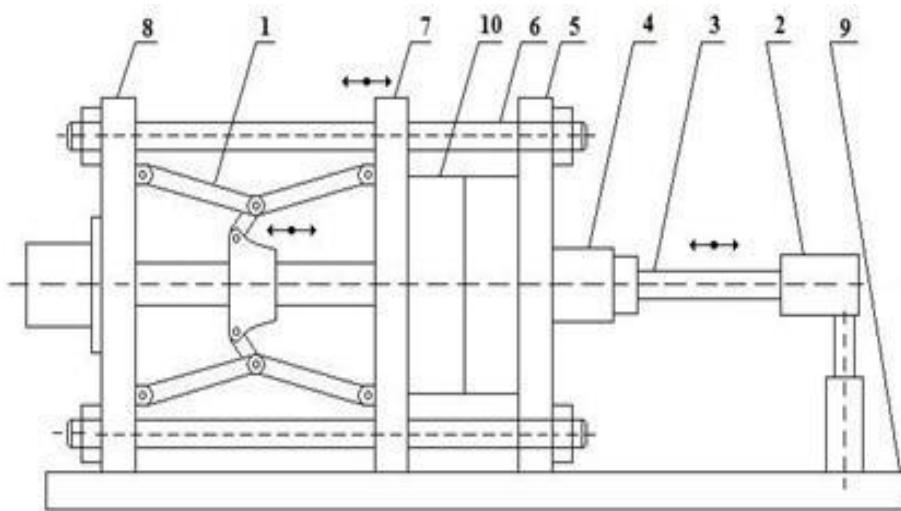
- Bezpečné uzavření formy
- Lisování kovu do formy
- Tuhnutí odlitku
- Otevírání formy
- Vytažení jader
- Vyhození odlitku z formy

Za účelem zajištění těchto operací jsou tlakové licí stroje složeny z těchto hlavních částí:

- Pohon strojů
- Uzavírací mechanismus
- Lisovací mechanismus
- Rám stroje
- Hydraulické rozvody
- Krytování stroje
- Řídicí systém

Základní konstrukční uzly tlakového stroje s horizontální studenou komorou:

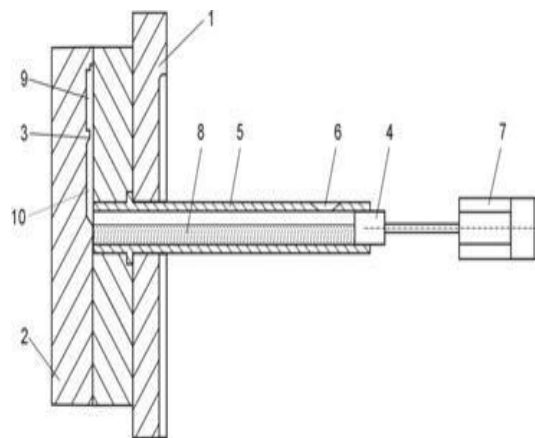
- uzavírací mechanismus
- lisovací mechanismus
- lisovací píst s pístnicí
- plnicí komora
- přední třmen
- sloup
- pohyblivý třmen
- zadní třmen
- fréza
- forma



3.1. Lisovací mechanismus

hlavním úkolem je dopravit přesně definovanou rychlostí roztavený kov do dutiny formy a během doby tuhnutí působit na něj vysokým tlakem.

1. přední třmen
2. forma
3. vtokový zářez
4. lisovací píst
5. plnicí komora
6. nalévací otvor
7. lisovací válec
8. tekutý kov
9. dutina formy
10. vtokový kanál



3.2. Uzavírací mechanismus

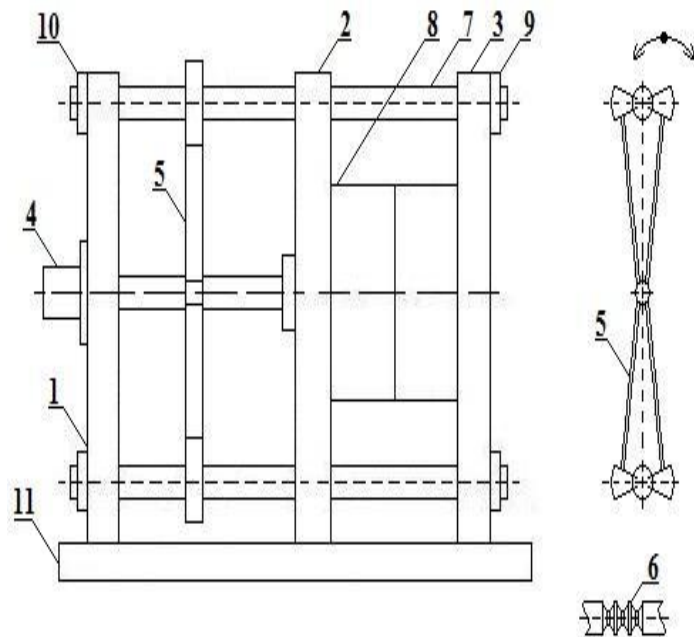
Z hlediska konstrukčního provedení uzavírací mechanismy dělíme:

- hydraulický uzavírací mechanismus
- mechanický uzavírací mechanismus
- hydraulicko-mechanický uzavírací mechanismus

- elektrický uzavírací mechanismus

Hydraulicko-mechanický uzavírací mechanismus

1. zadní třmen
2. pohyblivý třmen
3. přední třmen
4. přímočarý hydromotor
5. otočné čelisti s tvarovanými výstupky
6. tvarové vybrání sloupů
7. sloup
8. forma
9. přední matice
10. zadní matice
11. fréma



- Uzavření formy je provedena zdvihem hydraulického válce malou silou. Následně je bezpečné uzavření a zajištění formy zajištěno dvěma otočnými čelistmi a tvarovými výstupky, které zapadnou do vyjmutí na sloupech.

3.3. Pohon tlakových licích strojů

Pohon tlakových licích strojů je hydraulický. Starší stroje používali na vyvození tlakové energie vodní páru, v současnosti se využívají minerální oleje, resp. kapalina na bázi voda - glykol.

Pohon zajišťuje čerpadlo pracující v tlakovém režimu do 4,5MPa.

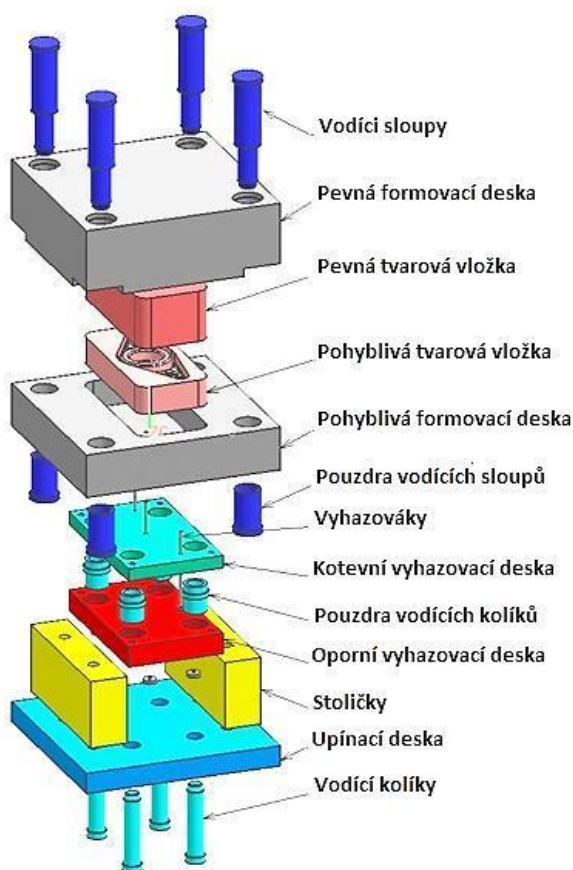
Podle konstrukce rozlišujeme:

- Pístové regulační čerpadlo
- Lopatkové regulační čerpadlo
- Šroubové regulační čerpadlo

4. Formy pro lití kovů pod tlakem

4.1. Základní části formy

Hlavním úkolem formy je podat zpracovávanému materiálu požadovaný tvar a ochladit ho na takovou teplotu, při které je odlitek natolik tuhý, že může být bez obav z deformace vybrán z formy. Formy musí odolávat vysokým tlakem, produkovat výrobky s přesnými rozměry a umožňovat vyjmutí odlitku.



Základními částmi formy jsou:

- díly vymežující tvarovou dutinu formy,
- chladicí, resp. temperační systém,
- vtokový systém,
- vyhazovací systém,
- odvodušňovací systém,
- upínací a vodící elementy.

V podstatě se dají základní části formy rozdělit na konstrukční a funkční. Konstrukční části zajišťují správnou činnost funkce a funkční jsou ve styku se zpracovaným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.

4.2. Tvarová dutina formy

Tvarová dutina je pro funkci formy nejdůležitější. Tvarem je identická se žadáním odlitkem, avšak liší se rozměry, které musí být o hodnotu smrštění materiálu větší. V dutině dochází ke chladnutí materiálu. S ohledem na jeho vlastnosti by bylo vhodné, aby ochlazování probíhalo ve všech místech odlitku stejnou rychlostí. K tomu je třeba zajistit homogenitu teplotního pole dutiny. Důsledkem nerovnoměrného chlazení je, že hmota na chladnějších místech tuhne dříve. V těchto místech se vytváří tlustší povrchová vrstva ztuhlé hmoty, a tím se zmenšuje průřez, kterým proudí tavenina do dalších částí dutiny. Forma je pak plněna na různých místech s odlišnými technologickými podmínkami, což se projeví různými vlastnostmi odlitku v těchto místech. Konečným důsledkem nerovnoměrného chladnutí je vznik vnitřních pnutí vedoucím k porušování odlitku.

4.3. Temperanční systém

Pod pojmem temperanční systém se rozumí systém kanálů a dutin, přes které protéká chladicí médium. Tímto systémem se udržuje teplota formy na požadované hodnotě.

Temperanční systém je dělený na dílčí okruhy, které jsou řešeny podle způsobu zaformování odlitku ve formě a podle polohy dělicí roviny. Při návrhu rozmístění temperančních kanálů a jejich rozměrů je nutné přihlížet k celkové řešení formy a jeho rozmístění musí být takové, aby docházelo k rovnoměrnému tuhnutí odlitku v celém jeho objemu. Průřez kanálů se volí zpravidla kruhový, ale využívají se i kanály s obdélníkovým průřezem.

Teplota formy a tepelná rovnováha formy pro lití pod tlakem má velký vliv na kvalitu odlitků a prodloužení životnosti formy. Chladicí systém formy musí být navržen tak, aby se zabránilo vzniku chyb způsobených špatnou teplotou. Pro temperanční systém se kanály ve formě vyvrtávají. Průměr kanálů závisí na tloušťce stěny odlitku.

4.4. Vtokový systém

Vtokový systém je tvořen jednoduššími nebo složitějšími kanály, které spojují tvarovou dutinu formy s plnicí komorou. Musí zajišťovat správné naplnění dutiny formy,

jednoduché odtržení nebo oddělení vtokového zbytku. Vtoková soustava je navrhovaná podle počtu tvarových dutin a jejich rozmístění. Protože vtokový kanál prodlužuje dráhu tečení roztaveného kovu do formy, projevuje se jeho negativní vliv na snížení teploty a poklesu lisovacího tlaku. Z toho důvodu je třeba přihlížet při konstrukci formy na to, aby kanály byly co nejkratší a jejich průřezy co největší.

Vtokový systém je třeba navrhnout tak, aby bylo dosaženo:

- správné vyplnění dutiny formy,
- takový směr proudění kovu v dutině formy, aby se předčasně neopotřebovaly její stěny,
- omezení místního nárůstu teploty, který by vedl k nadměrnému opotřebení a zhoršení povrchové čistoty odlitku,
- co nejmenší vznikání vírů v proudu taveniny, které vede k uzavírání plynů v objemu odlitku,
- požadovaný tvar a povrchová kvalita odlitku.

4.5. Vyhazovací systém

Jelikož se odlitek při ochlazování smršťuje, zůstává přichycen na tvarových součástech dutiny formy, je nutné formu opatřit systémem na vyhazování odlitku. Nejčastěji se takový systém řeší jako mechanický, ale využívají se i systémy pneumatické a hydraulické. Často se jednotlivé řešení výhozu odlitku kombinují.

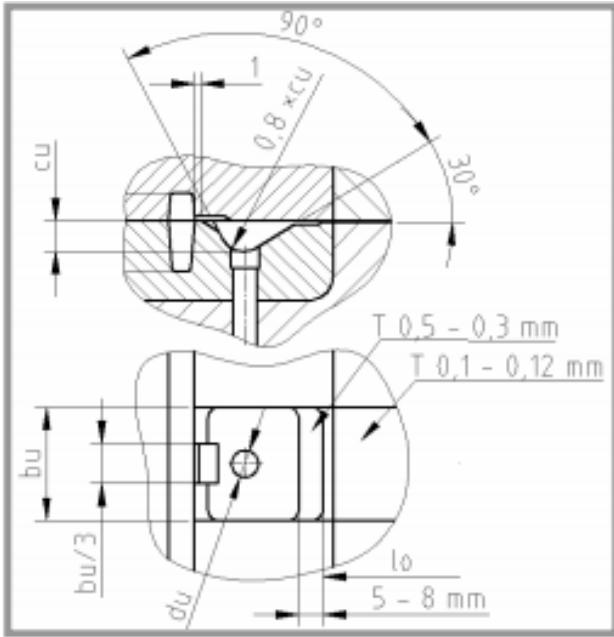
Vyhazovací síly se vypočítávají odvozením od měrných tlaků mezi formou a odlitkem, od tepelné závislosti koeficientu tření mezi oběma polovinami formy a od rozměrů odlitku.

Upínací a vodící elementy

Jsou konstrukční části stroje zajišťující a vymezující přesné vzájemné dosedání částí formy a jejich funkční pohyblivost.

4.6. Odvzdušňovací systém

Odvzdušnit tvarovou dutinu formy je důležité. Jelikož doba zalisování je krátká a lisování je prováděno velkou rychlostí a vysokým tlakem, vzduch obsažený v dutině formy by přes netěsnosti formy v dělicí rovině nestíhal unikat. To by vedlo k neúplnému vyplnění dutiny formy a ke kritickému zvýšení tlaku v dutině. Proto je důležité zajistit intenzivní odvod vzduchu z dutiny formy zakomponováním systému odvzdušňovacích kanálů. Avšak ty nesmí být příčinou vznikání otřepu na odlitku.



5. Metodika navrhování konstruování vtokových soustav

Návrh vtokového systému tlakové formy sestává z následujících kroků:

- Analýza proudění tekutého kovu
- Výběr nejvhodnějšího místa pro umístění vtokového zářezu a odvzdušňovacího systému
- Výpočet maximálního času plnění dutiny formy a rychlosti proudění kovu ve vtokovém zářezu
- Rozdělení odlitku na segmenty vtokových částí
- Určení objemu přetoků
- Výpočet celkové plochy vtokového zářezu a výběr výšky zářezu
- PQ^2 analýza a uzavírací síla stroje
- Čas plnění dutiny formy a plocha zářezu vypočtená podle jednotlivých segmentů
- Volba typu zářezu, typu vtokového kanálu a jejich tvaru

5.1. Analýza proudění tekutého kovu

Ideální tvar odlitku umožňuje proudění tekutého kovu v dutině formy po jasných a přímých trasách. No jen zřídka je možné navrhnout takový ideální tvar, zejména v případě vtokových kanálů a zářezu. V reálných podmínkách je třeba často přistoupit ke kompromisu. Návrhář by měl při navrhování zvážit nejen technologické, ale i slévárenské hledisko. Během procesu navrhování vtokového systému je nutné provést konzultace a jednání s pracovníky zběhlý v problematice vysokotlakého lití, který do procesu navrhování vnáší praktické hledisko. Návrhář je následně nucen najít vhodný kompromis mezi požadovaným tvarem, tvarem ideálním a připomínkami odborníků, a tím najít nejlepší cestu pro proudění roztaveného kovu. Právě tato cesta určí hranice pro umístění vtokového zářezu.

5.2. Výběr nejvhodnějšího místa pro umístění vtokového zářezu a odvzdušňovacího zářezu

Všechny známé slitiny využívané ve slévárenství mají tendenci během tuhnutí a chladnutí se smršťovat. Pokud tuto vlastnost nepodchytíte, resp. nevezmeme ji při projektování formy v úvahu, výsledné odlitky budou vykazovat různé chyby způsobené smršťováním při tuhnutí. Tyto chyby se v podstatě projeví jako dutiny v objemu odlitku (vyšší pórovitost) a propadliny různých velikostí.

Při odlévání do pískových forem, gravitačním odlévání, při nízkotlakém lití a při lití na vytavitelný model se smršťování formy kompenzuje zvětšením objemu formy o hodnotu, která přísluší smrštění. Tím dosáhneme že výsledný odlitek vykazuje i po smrštění požadované rozměrové vlastnosti. Toto zvětšení objemu se realizuje vytvořením takzvaného nálitků. Nálitky jsou kuželovité výstupky umístěny nad nejtěžší přístupné, a v objemu odlitku posledně tuhnoucí sekce.

Vysokotlaké lití je výjimkou mezi slévárenskými technologiemi z toho důvodu, že v tvarové dutině formy nejsou umístěny nálitky. Smrštění se eliminuje do tlaku, a z toho důvodu je nutné navrhnout vtokový systém tak, aby roztavený kov byl schopen přenášet tlak co nejdélší dobu a s nejmenšími ztrátami. Návrhář musí brát v úvahu tlakový spád a děje probíhající v dutině formy, počínaje vtokovým zářezem a konče výfuky.

Je výhodné, a v praxi často realizovány, navrhovat vtokový systém tak, aby se zářez nacházel v dělicí rovině formy a odvzdušňovací systém byl umístění naproti. Vhodným řešením je volit umístění vtoku a výfuků tak, aby proudění roztaveného kovu v tvarové dutině formy probíhalo po co nejkratších drahách.

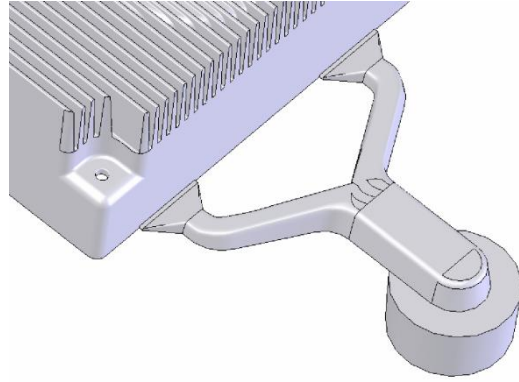
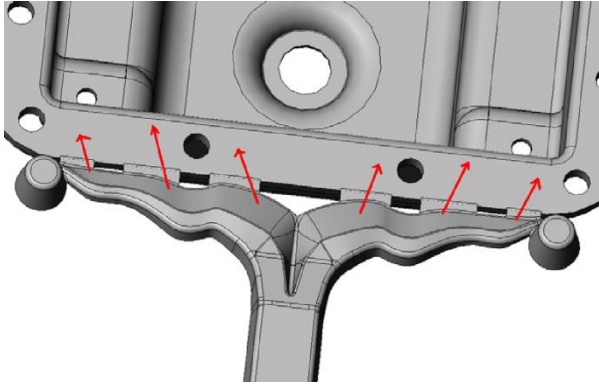
Tangenciální vtokový systém dává dobré možnosti přímému tečení roztaveného kovu, přičemž vějířovité ústí vtoku umožňuje jen malé, nebo žádné možnosti řízení.

Oba typy vtoků mohou být použity s vícenásobným nebo rozděleným vtokovým kanálem. Pokud je odlitek rozdělen na několik sekcí s různou tloušťkou stěny, je možné umístění zářezu při každé takové sekci.

Pokud je možné, je výhodné při projektování vtokových kanálů vyhnout se případu, aby se dva různé proudy vstříkovaného kovu setkali ještě před vtokovým zářezům. Je to nežádoucí situace, ale bohužel ne vždy odstranitelná. Při takové situaci by měl být vtokový zářez umístěn z vnitřní strany odlitku. Slabým místem v konstrukci centrálního vtokového systému je převážně to, že nejsou umožněno vícenásobné dutiny, a příliš dlouhá konstrukce vtokové soustavy způsobuje, že rychlost proudění roztaveného kovu klesá dřív, než stihne vstoupit do dutiny formy.

Tangenciální vtok

Vějířovitý vtok



6. Technologické faktory tlakového lití

Kvalita tlakově litych odlitků je ovlivňována řadou faktorů. Z konstrukčního hlediska má velký vliv správný návrh tlakové formy, její vtokové soustavy, odvzdušňovacího systému, temperančního systému a volba vhodného lisovacího stroje. Nelze opomenout ani vliv druhu odlévané slitiny a její metalurgické zpracování, vliv údržby, stavu a maštění dutiny formy a v neposlední řadě i vliv samotné obsluhy stroje. Samostatnou skupinu faktorů tvoří technologické parametry lití kovů pod tlakem. Ty můžeme rozdělit do tří základních skupin, a to:

- parametry lisovacího systému,
- teplotní parametry procesu lití,
- parametry vyplývající z vlastností taveniny.

6.1. Parametry lisovacího systému

Hlavním úkolem lisovacího mechanismu je doprava a zalisování taveniny do dutiny tlakové formy předepsanými technologickými parametry tak, aby bylo zajištěno plynulé a úplné vyplnění dutiny formy. Jde především o následující parametry:

- lisovací rychlost v plnicí komoře,
- měrný tlak na taveninu a dotlaku,
- čas plnění dutiny formy.

6.2. Teplotní parametry procesu lití

Teplotní parametry mají vliv na chování taveniny při přechodu lisovacím strojem od doby dávkování, až po vybírání vytuhnutí odlitku z dutiny formy. Jedná se především o:

- teplotu roztavené slitiny,
- teplotu plnicí komory,
- teplota formy.

6.3. Parametry vyplývající z vlastností taveniny

Vlastnosti taveniny a způsob jejího přípravy mají velký vliv na kvalitu odlitku. Mezi základní technologické parametry vyplývající z vlastností slitiny patří:

- sklon k naplynění,

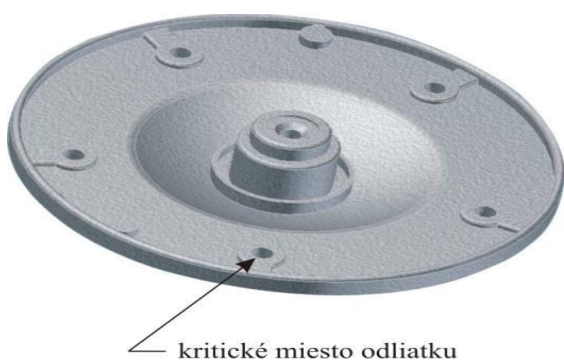
- sklon ke tvorbě staženin.

7. Vliv technologických faktorů na mechanické vlastnosti odlitků

7.1. Experimentální vzorky:

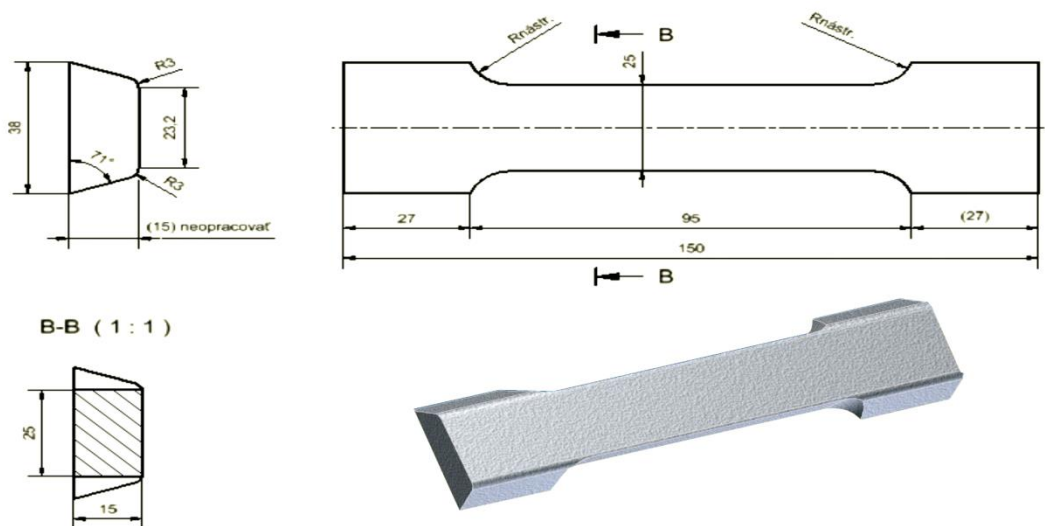
příruba elektromotoru (obr. 1)
trvalá deformace – s
tvrdost – HB tažnost – A_5

testovací tyčka (obr. 3)
mez pevnosti v tahu – R_m



Obr. 1 Příruba elektromotoru

Obr. 2 Místo odebrání tyčky



Obr. 3 Testovací vzorek (tyčinka)

7.2. Charakteristika sledovaných faktorů:

Sledován byl vliv dvou faktorů na základné mechanické vlastnosti:

1. faktor – rychlost lisovacího pístu:

$$v_1 = 1,9 \text{ m.s}^{-1} \quad v_4 = 2,9 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_2 = 2,3 \text{ m.s}^{-1} \quad v_5 = 3,2 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_3 = 2,6 \text{ m.s}^{-1}$$

2. faktor – dotlak:

$$p_1 = 13 \text{ MPa}$$

$$p_2 = 22 \text{ MPa}$$

$$p_3 = 25 \text{ MPa}$$

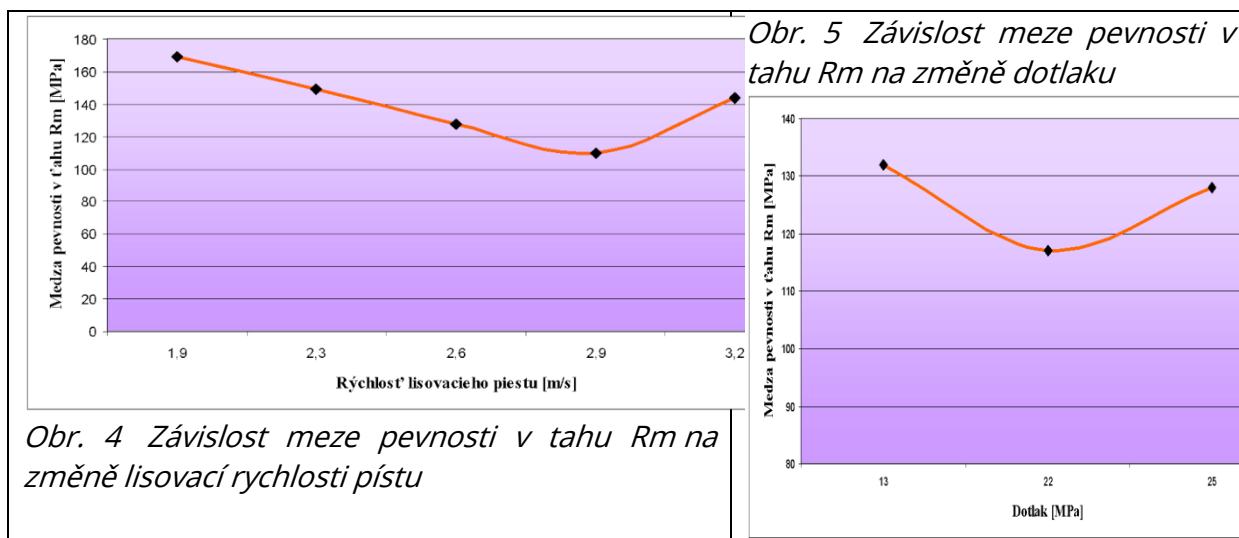
Analýza rychlosti taveniny ve vtokovém kanále a vtokovém zářezu:

Tab. 2 Rychlost taveniny ve vtokovém kanále a vtokovém zářezu stanovená na základě rovnice kontinuity

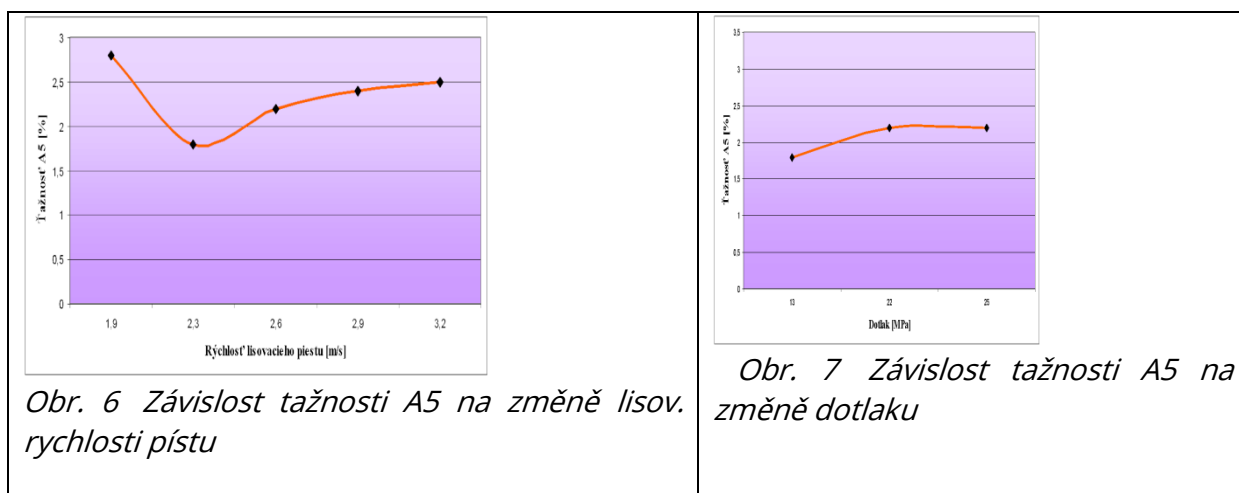
Lisovací rychlost pístu [m.s ⁻¹]	rychlost taveniny ve vtokovém kanále [m.s ⁻¹]	rychlost taveniny ve vtokovém zářezu [m.s ⁻¹]
1,9	14,78	36,58
2,3	17,89	44,28
2,6	20,23	50,05
2,9	22,56	55,83
3,2	24,9	61,60

7.3. Analýza mechanických vlastností

Vyhodnocení meze pevnosti v tahu:



Vyhodnocení tažnosti:



Vyhodnocení tvrdosti:

bylo provedeno dle Brinella na měřícím zařízení HPO 250 (obr. 8).

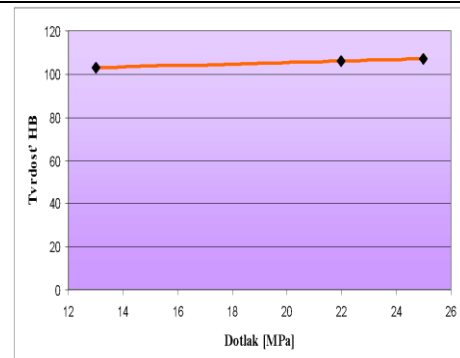
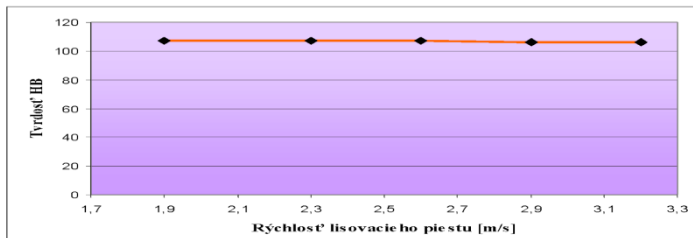
podmínky měření:

- průměr kuličky $D = 2,5 \text{ mm}$
- zatěžující síla $F = 613 \text{ N}$
- doba zatížení $t = 10 \text{ s}$



Obr. 8 Měřicí zařízení HPO 250

Obr. 9 Závislost tvrdosti HB na změně lisov. rychlosti pístu



Obr. 10 Závislost tvrdosti HB na změně dotlaku

Vyhodnocení trvalé deformace

- statická zkouška v tlaku se měřila na zařízení TIRAtest 28200 (obr. 11).

Obr. 11 Měřicí zařízení TIRAtest 28200



Obr. 12 Zatížení zkušebního místa odlitku



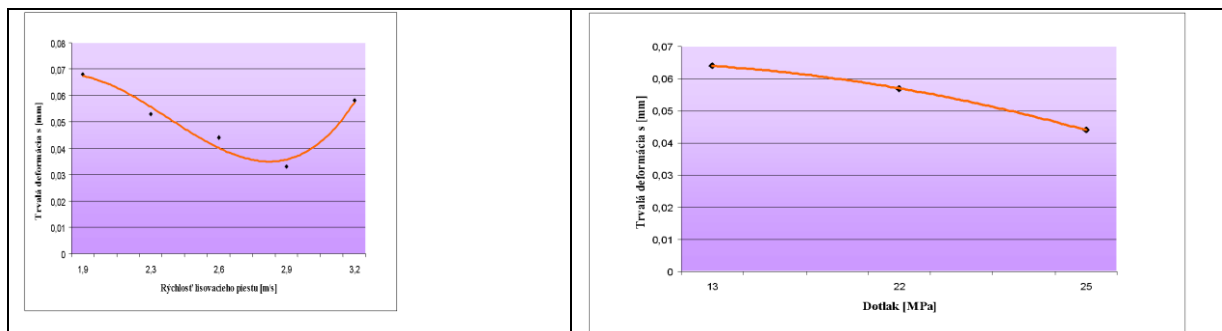
Podmínky měření:

- zátěžová síla $F_a = 16 \text{ kN}$
- síla po odlehčení $F_m = 8 \text{ kN}$
- rychlost zatížení $v = 10 \text{ mm.min}^{-1}$

Obr. 13 Závislost trvalé deformace s na změně

lisovací rychlosti pístu

Obr. 14 Závislost trvalé deformace s na změně dotlaku

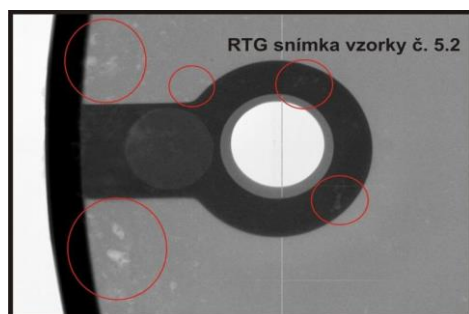
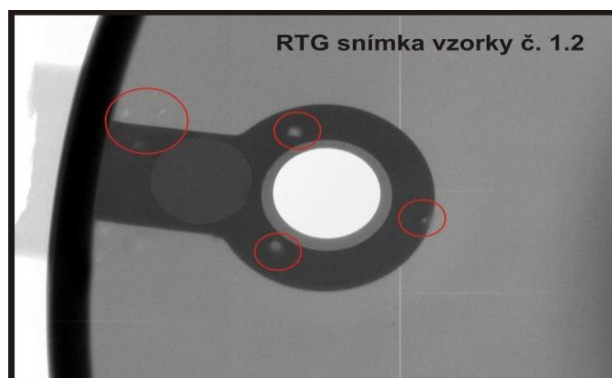


7.4. Analýza vnitřní homogenity

Měření vnitřní homogenity bylo realizováno na vytypovaných odlitcích na místech, kde se měřila trvalá deformace, aby bylo možné porovnat dosažené výsledky trvalé deformace s RTG snímkem, a to zařízení RTG VX1000D.

Obr. 15 RTG snímek vzorku č. 4.2, $v = 2,9$ $m.s^{-1}$

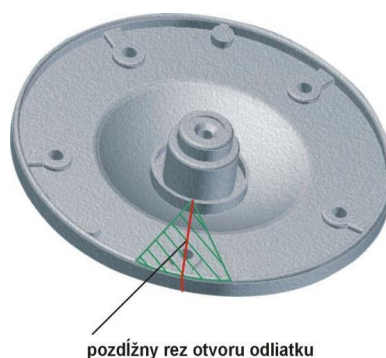
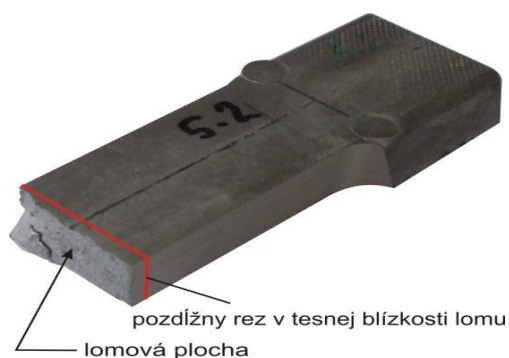
Obr. 16 RTG snímek vzorku č. 1.2, $v = 1,9$ $m.s^{-1}$



Obr. 17 RTG snímek vzorku č. 5.2, $v = 3,2$ $m.s^{-1}$

7.5. Makro a mikroskopická analýza

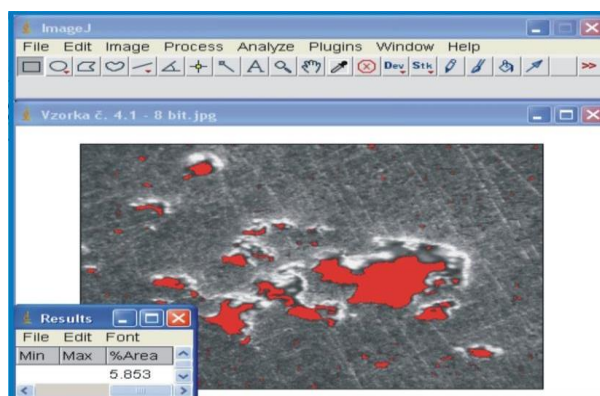
Makroskopická a metalografická analýza byla za účelem zjištění příčin nehomogenity mechanických vlastností.



Obr. 18 Schéma odběru vzorku pro vyhodnocení pórovitosti testovací tyčinky

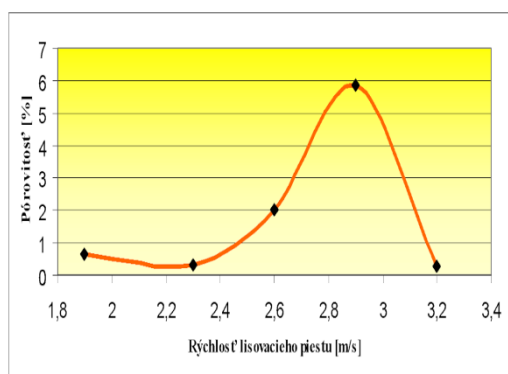
Obr. 19 Schéma odběru vzorku pro vyhodnocení pórovitosti odlitku

Analýza pórovitosti metalografických výbrusů z odebraných vzorků byla realizovaná mikroskopem OLYMPUS GX51 při 100násobném zvětšení a zpracovaná počítačovým programem ImageJ (obr. 20).

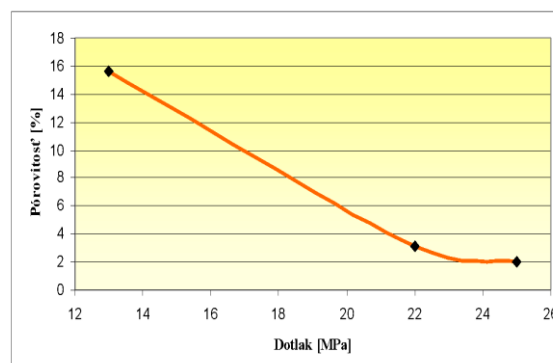


Obr. 20 Počítačový program ImageJ

Vyhodnocení pórovitosti vzorků odebraných z testovacích tyčinek

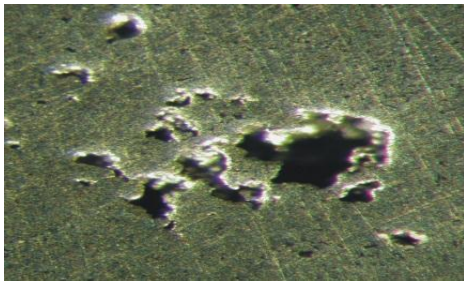


Obr. 21 Závislosť pórovitosti na zmene lis.



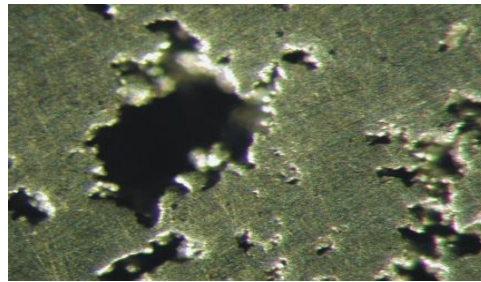
Obr. 22 Závislosť pórovitosti na zmene tlaku

rychlosti pístu

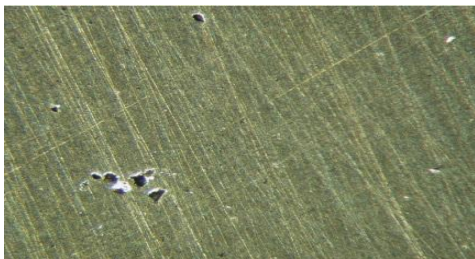


Obr. 24 pórovitosť 5,85 %
 $v = 2,9 \text{ m.s}^{-1}$

dotlaku



Obr. 25 pórovitosť 15,59 %
 $p = 13 \text{ MPa}$



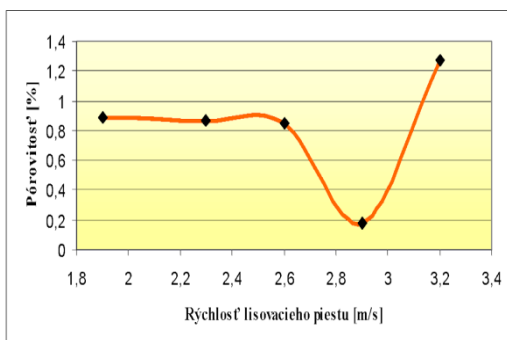
Obr. 23 pórovitosť 0,33 %
 $v = 2,3 \text{ m.s}^{-1}$



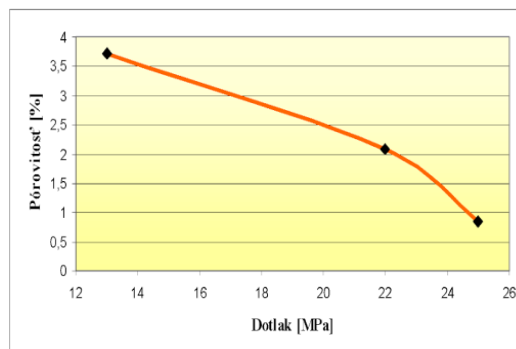
26 pórovitosť 2,03 %
 $p = 25 \text{ MPa}$

Obr.

Vyhodnocení pórovitosti vzorků odebraných z odliťků

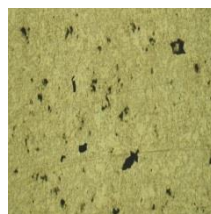


Obr. 27 Závislosť pórovitosti na zmene rýchlosti pístu



28 Závislosť pórovitosti na zmene dotlaku

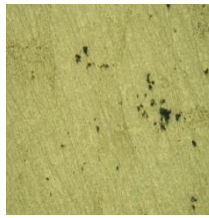
Obr.



Obr. 30 pórovitost 1,27 %
 $v = 3,2 \text{ m.s-1}$



Obr. 31 pórovitost 3,73 %
 $\rho = 13 \text{ MPa}$

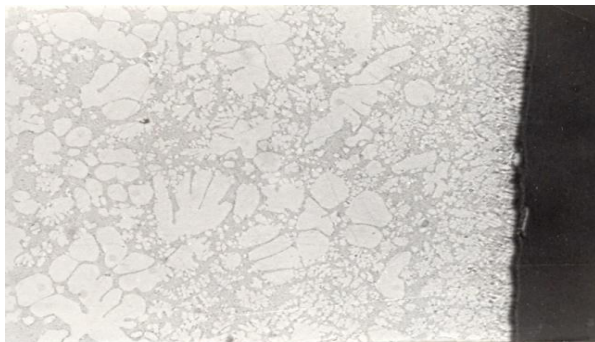


Obr. 29 pórovitost 0,18 %
 $v = 2,9 \text{ m.s-1}$

Obr. 32 pórovitost 0,85 %
 $\rho = 25 \text{ MPa}$

Analýza struktur:

Struktura je tvořená: α - tuhým roztokem,
eutektikem skládajícím se z α - tuhého roztoku a křemíku.



Obr. 33 Mikrostruktura okrajové části vzorku /250x/

Obr. 34 Základní struktura /2000x/

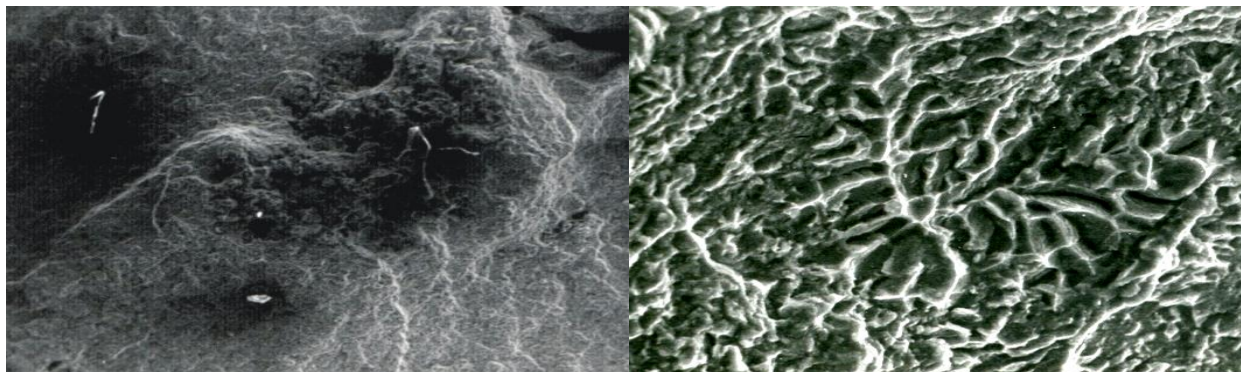


Obr. 35 Srůstání eutektických buněk

Analýza charakteru porušení a slévárenských chyb:

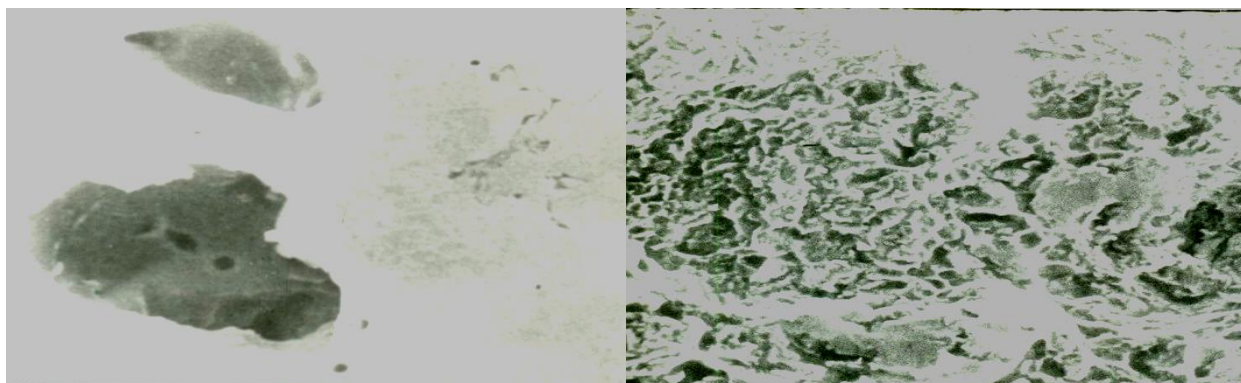
Lom nadeutektických siluminů je křehký, rovinný, uspořádaný kolmo k tažné síle.

Obr. 36 Makroskopický pohled na lom /10x/ *Obr. 37 Charakter porušení dendritů α tuhého roztoku a eutektika /250x/*



Na lomových plochách byly pozorovány následující slévárenské chyby:

dutiny s povrchem tvořeným dendrity mezi kterými se nachází blána oxidu Al_2O_3 , částice Al_2O_3 .



Obr. 38 Exogenní bublina /250x/

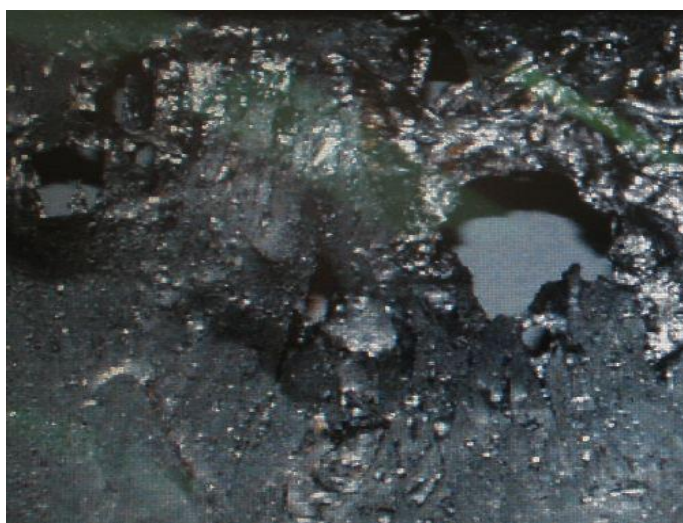
Obr. 39 Částice Al_2O_3 na lomové ploše /250x/

8. Chyby odlitků

Výskyt chyb v odlitku je ovlivňovaný množstvím faktorů, které jsou navzájem propojené a změna jednoho následně naruší nastavení ostatních. Chybou se rozumí takový stav odlitku, který neumožňuje realizovat jeho užitkové vlastnosti. Z pohledu kvalitního výrobku je chybou každá odchylka od vlastností stanovených technologickými normami, technickými nebo dohodnutými podmínkami. Přehled vztahu chyb a příčin jejich vzniku v závislosti na faktorech lití znázorňuje Savenův diagram.

8.1. Nedolití

Je stav, kdy nejsou zcela dolité všechna místa odlitku. Nejčastěji se nedolití vyskytuje v místech, které jsou umístěny nejdále od vtokového zářezu, které jsou nedostatečně odzdušněné, nebo do kterých jsou proudem kovu zanesené zbytky maziv. Také celkové zaformování odlitku a umístění vtokového zářezu má vliv na vznik nedolítých míst. Jako predikce je vhodné konstruovat umístění vtokového zářezu tak, aby proud roztaveného kovu nenarážel přímo na zeď, a to zejména blízko vtokového zářezu. Pokud je konstrukce formy navržena správně, je možné tuto chybu odstranit optimálním nastavením technologických parametrů.



8.2. Studený spoj

Na odlitku se studený spoj projevuje jako povrchová prohlubeň se zaoblenými hranami. Ke vzniku studeného spoje dochází v případě, že se setkají proudy předčasně ztuhlého kovu. Příčinou vzniku této chyby je nízký tlak stroje, nízká teplota lití kovu nebo nerovnoměrné tuhnutí kovu ve formě.

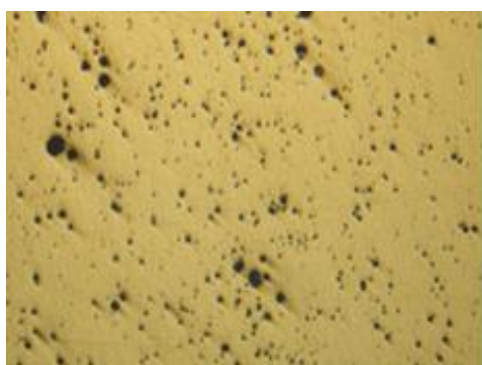


8.3. Pórovitost

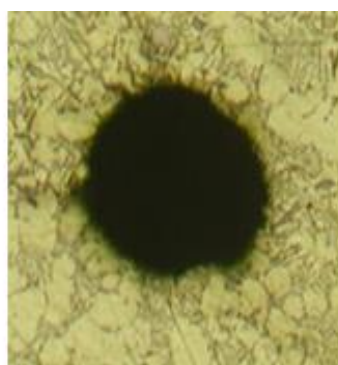
Vzniká smršťováním tekutého kovu v místech shluků a tepelných uzlů odlitku. Rozdílná tloušťka stěn a nezaručené dosedání taveniny po zalisování do míst s posledním tuhnutím jsou častými příčinami vzniku pórů, které se projevují jako dutiny s drsným povrchem. Pórovitost se často vyskytuje ve shlucích a způsobuje netěsnost odlitku. Odhalit tuto chybu vizuální kontrolou není možné. Její detekování lze provedením RTG zkoušek. Provedení RTG zkoušek se provádí průběžně, a výhodou je včasné zjištění chyby s možností rychlého provádění opatření k jejímu odstranění. Eliminace vzniku pórovitosti je možná snížením množství tepelných uzlů, vhodnou konstrukcí vtokové soustavy s větším průřezem zářezu a správným návrhem temperačního systému tak, aby bylo zajištěno rovnoměrné tuhnutí tekutého kovu v dutině formy. Pokud není předpoklad, že tento konvenční postup vyřeší problém pórovitosti, je možné zvolit si nadstandardní metodu, a to umístění a zabudování dohutňovačů - squeeze casting. Při této metodě je slévárna limitovaná vybavením, a tedy zda vlastní stroj s odpovídajícím vybavením

8.4. Bubliny

Tyto chyby jsou charakteristické malými dutinami s hladkým povrchem. Tvořené jsou vzduchem z plnicí komory a dutiny formy, nebo plynatostí slitiny. Vznikají pokud vzduch obsažený v dutině formy nestačí unikat přes odvzdušňovací systém a zůstává uzavřen v objemu odlitku. Ke snížení, respektive odstranění bublin napomáhá postupné a plynulé plnění dutiny formy, které má být ukončeno v těch místech, kde je možné provést účinné odvzdušnění. Návrh vtokové soustavy musí být řešen tak, aby nedocházelo k uzavírání vzduchu tekutým kovem, a tudíž aby byl vzduch vytlačován před čelem postupující taveniny. Z toho důvodu je vhodné navrhnout odlitek tak, aby místa s posledním tuhnutím taveniny byly dostatečně odvětrávané. Rovněž je důležité správně navrhnout zaústění zářezu a vhodnou polohu a objem přetoků



a



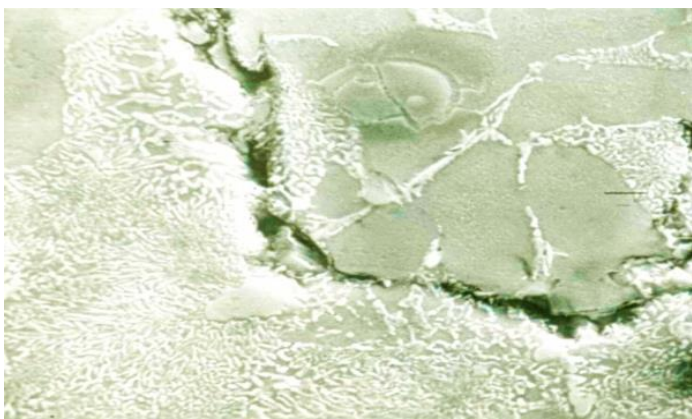
b

8.5. Puchýře

Chyba vznikající uzavřením vzduchu v oblasti blízko pod povrchem stěny odlitku. Vzniká v důsledku vysokého tlaku v bublině a nízké pevnosti slabé stěny ještě horkého odlitku. Příčinou vzniku je především slabé odvzdušnění formy, tvar zaústění vtokového zářezu a umístění temperančních kanálů v těle formy. Vznik puchýřů podněcuje také nadměrná teplota formy, vysoká licí teplota taveniny, ale i špatně naběhlý dotlaku.

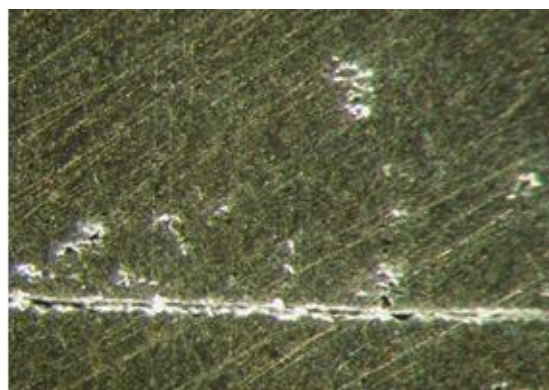
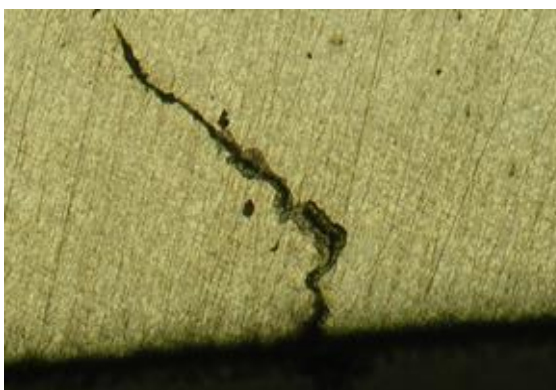
8.6. Zavaleniny

Chyba způsobená setkáním předčasně ztuhlých proudů taveniny. Její příčinou je nedostatečný tlak licího stroje, nedostatečná teplota taveniny nebo nerovnoměrné tuhnutí odlitku ve formě. Predikce je možná dodržením technologického postupu lití, správným nastavením parametrů, správnou teplotou taveniny a teplotou formy.



8.7. Trhliny

Chyba nacházející se v dutinách stěn odlitku a chyba porušení celistvosti přecházející od povrchu do objemu odlitku. Projevuje se jako křivočarý porušení stěny odlitku, vzniklé za tepla s mírně oxidovaným povrchem. Začínají se tvořit v rozmezí tuhnutí, pokud je volné smršťování brzděno mechanicky nebo tepelně.



8.8. Praskliny

Jsou definovány jako křivé povrchové prasknutí stěny odlitku, které vznikají za studena. Jejich povrch je čistý. Iniciátorem vzniku prasklin je pnutí vyvolané smršťováním, nevhodná konstrukce odlitku způsobující po ochlazení napětí v objemu odlitku, nebo předčasné vyjmutí odlitku z formy. Praskliny probíhají vnitřní částí zrn, protože po ochlazení jsou hranice zrn pevnější než jejich jádra.

8.9. Deformace

Na deformace odlitků má vliv konstrukce formy. Deformace mohou být způsobeny:

nedostatečnými úkosem tvarové části pevné poloviny formy,
malými úkosem hlubokých tvarů odlitku,
špatným rozmístěním a nedostatečnou plochou vyhazovačů,
nedostatečnou opěrnou plochou odlitku při vycházení pohyblivých jader,
opotřebením formy v místě nevhodného zaústění vtokového zářezu,
nevhodným řešením chladicího systému formy.

Kromě konstrukčního vlivu není zanedbatelná ani kvalita formy (zejména stav povrchu tvarové části), její ošetření po ukončení lícího cyklu a rovněž vznikem trhlin za tepla.

8.10. Rozměrové odchylky

Pokud má odlitek vyhovovat podmínkám něj kladeným, musí kromě celistvosti, vnitřní a povrchové kvality, splněných mechanických hodnot splňovat také rozměrové požadavky, které jsou určeny výkresovou dokumentací. Požadavky na přesnost rozměrů musí konstruktér brát v úvahu při projektování zaformování odlitku a celkového návrhu formy.

Rozměrové odchylky jsou z pohledu konstrukčního řešení formy a způsobu zaformování odlitku způsobené v důsledku těchto příčin:

- rozměry, které procházejí napříč dělicí rovinou nelze udržet v úzkých tolerančních mezích,
- systém temperování formy musí mimo jiné zohledňovat i vliv na rozměrové odchylky odlitku, řešením je dosažení tepelné rovnováhy formy během procesu lití,
- nesprávně řešena hodnota smrštění odlitku při konstruování formy vzhledem k druhu slitiny,
- deformace formy (prohnutí, přehřátí), způsobená vlivem nedostatečného dimenzování jednotlivých dílů formy.

9. Přídavná zařízení k tlakovým licím strojům

9.1. Dávkovací zařízení

Manipulátoři dávkování taveniny slouží pro dopravu odměřeného množství taveniny z udržovací pece do plnicí komory tlakového licího stroje.

Sestávají ze stojanu, pohonné jednotky, otočného ramene, naběračky a sond.

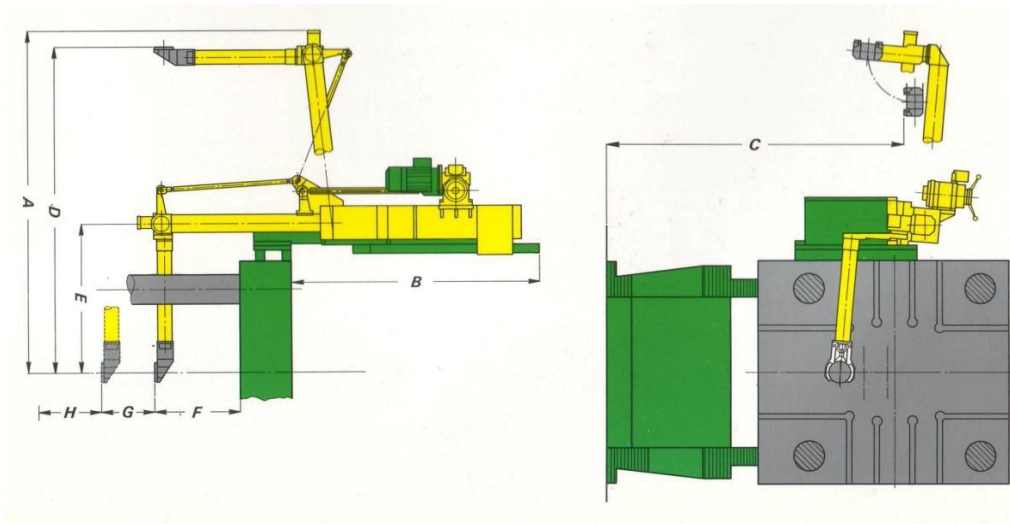
Stojan je řešen tak, že umožňuje vertikální přestavení a otáčení manipulátoru. Je upevněn na podlaze vedle licího stroje. Pohonná jednotka je tvořena elektromotorem, převodovkou a závitovou převodovkou.

Otočné rameno je upevněno na výstupním hřídeli šnekové převodovky. V otočném rameni je převeden řetězový převod sloužící k udržování nosného ramene v nastavené poloze během otáčení otočného ramene. Nosné rameno slouží k nošení naběračky. Je v něm umístěno zařízení na otáčení naběračky.

Naběračka je vyrobena převážně z perlitické šedé litiny. Její tvar je řešen tak, aby při ponoření do taveniny došlo k porušení oxidačního povrchu pouze na minimální ploše. Přesnost dávky je v +/- 0,8%. Vyprazdňování kelímku není možné až po dno.

9.2. Zařízení pro vybírání odlitků

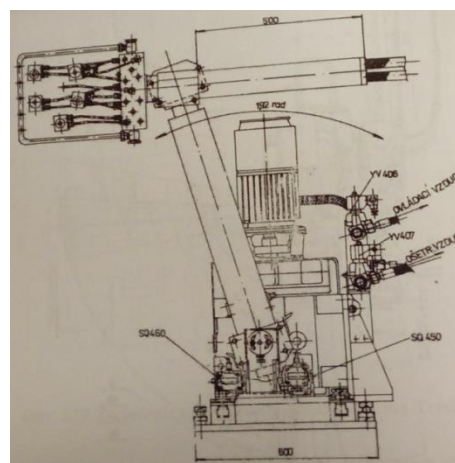
Vybírání odlitků je spojeno s dalšími operacemi jako je přezkoušení odlitku. K dispozici jsou volně programovatelné průmyslové roboty, které vybírají odlitky.



9.3. Zařízení na ošetřování formy

Povrchová a vnitřní čistota odlitků závisí ve velké míře na ošetřování činné části formy, které je zajišťováno zařízením k ošetřování.

Skládá se z reciprokátora a tlakového rozvodu. Reciprokátor je upevněn na pevném třmenu tlakového lícího stroje. Dá se mechanicky otáčet v prostoru dělicí roviny formy a uvolněním šroubů v přírubě. Pohyb ošetřovacího bloku do prostoru formy je zajištěn pneumatickým válcem. Ošetření formy je prováděno mastíci a ofukovacími tryskami. Prívod vzduchu a maziva do ošetřovacího bloku je zajištěn pomocí hadic, trubek a tlakové nádoby.



9.4. Ostříhovací lisy

Odstřihování vtoků na odlitcích se provádí na hydraulických ostřihovacích lisech. Ovládání pro hydraulické lisy musí být automaticky samostrážené. Zařízení obsahuje velký počet konstrukčních částí jako např. koncových spínačů, zařízení na ochranu rukou, ovládacích ventilů. Je provedeno pojištění jednotlivého zdvihu, aby při stále stlačených tlačítkách obsluhy lis převedl pouze jeden.



9.5. Zařízení pro pomocný ohřev provozní kapaliny

Stroj dokáže dostat kapalinu na provozní teplotu za 3-4 hodiny chodu. Na zkrácení času se využívá pomocný ohřev.

Pomocný ohřev se využívá, pokud je stroj vypnut na delší dobu. Ohřev teplota poklesne o hodnotu 20 ° C.

Ochlazováním kapaliny stoupá její viskozita a při provozu vytváří na filtrační vložce povlak, čímž se zapne signalizace poruchy stroje.

Nejvýkonnější jsou elektrické přídavné ohříváče provozních kapalin.

10. Tavení slitin

Tavení slitin se provádí v tavicích pecích s dostatečným příkonem, aby tavení bylo velmi intenzivní a přehřátí taveniny bylo minimální. Výška licí teploty závisí na typu slitiny, jejím chemickém složení, konstrukci odlitku, složitosti jeho konstrukce a tloušťky stěn. Z hlediska výšky licí teploty je třeba vzít v potaz ochlazovací účinek formy a jader a způsob odlévání.

Příliš vysoké teploty přehřátí vedou ke zvýšení naplynění, nadměrnému vzniku oxidů, k nárůstu tloušťky zrna a ke zvýšené spotřebě energie.

Tavení je tepelně-metalurgický proces, během něhož přidáváním tepla, resp. vytvářením tepla mění materiál (vsádka) svůj fyzikální stav ze stavu tuhého (solidus) do stavu tekutého (likvidus).

10.1. Vsádkové suroviny:

- Bločky slitiny
- Čisté kovy (Al, Mg, Zn, Cu, Si apod.)
- Předslitiny určené na legování (Al-Ti, Al-Cr, Al-Mo a jiné)
- Soli používané na dodatečné legování nebo na úpravu struktury
- Odpad, který se musí pečlivě třídít podle chem. složení

10.2. Vrátný materiál

Vrátný materiál tvoří vtoky, nálitky, zbytky z lisovací komory a zmetky při tlakovém lití. Podle praktických zkušeností podíl vrátného materiálu je závislý na velikosti odlitku, a to od 20% hmotnostních hrubého odlitku až do 75% hmotnosti při velkých odlitcích.

Při výrobě odlitků méně náročných na dosažený stupeň kvalitativních vlastností je možné použít slitinu nižší kvality použitím vrátného materiálu druhého na třetího tavení. Obsah vrátného materiálu druhého tavení by neměl překročit hodnotu 40% a obsah materiálu z třetího tavení 30%.

Vratný materiál se dělí na čistý - z vtokového systému, zmetky, a na znečištěný - ze zbytků z plnicí komory, slitina znečištěná olejem. Při tavení se vsázky jako první, roztaje se a následně se přidá nová slitina v bločku. Následně proběhne rafinace.

10.3. Tavení, udržování a odlévání

Na tavení se využívají různé typy tavicích agregátů. Rozhodujícími faktory jsou ekonomičnost a technologičnost přípravy kovu nebo slitiny.

Mezi nejdůležitější technologické parametry patří:

- Výkon tavicího agregátu
- Způsob ohřevu tavicího agregátu
- Způsob výměny tepla
- Pohyb taveniny v pracovním prostoru
- Rozsah pracovních teplot a změna teplot
- Kontrola a regulace
- Atmosféra a tlak
- Doba procesu tavení

11. CA technologie v slévárenství

Rychlým nástupem počítačové techniky do všech odvětví průmyslu se otevřela cesta k experimentálnímu a simulačnímu modelování a ověřování analyticky a empiricky navržených možností řešení vtokových soustav a tlakových forem. Je prokázáno, že využívání počítačové techniky k simulování dějů probíhajících při lití pod tlakem šetří 40% času potřebného k návrhu odlitku, 30% času potřebného k ověřování výsledků v laboratořích a přináší o 25% zvýšenou výtěžnost z celkového procesu.

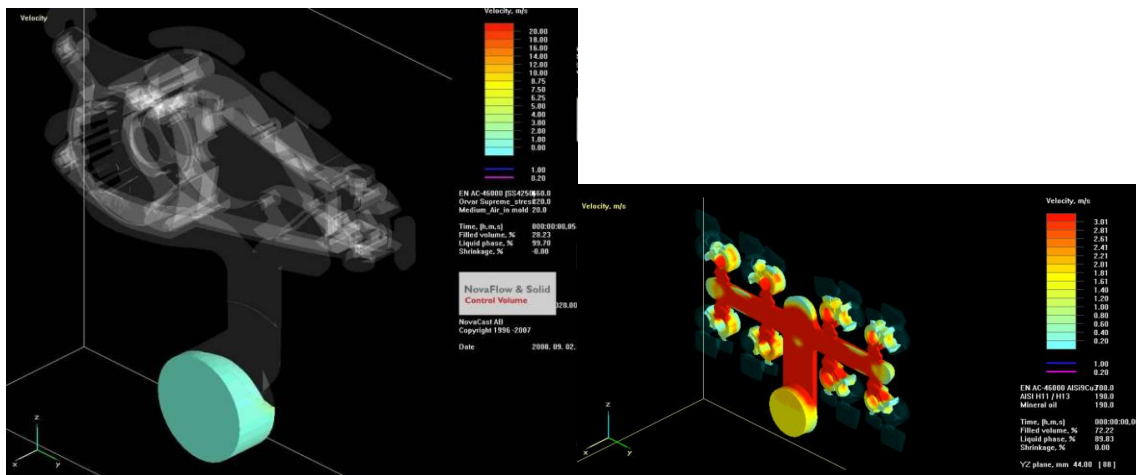
Ve světě se vyskytuje několik desítek simulačních programů využívajících se na simulování dějů probíhajících uvnitř formy. Nejběžnější využívanými programy jsou:

- NovaFlow & Solid,
- PamCast,
- Magmasoft,
- Simtec - Wincast.
- NovaFlow & Solid

11.1. NovaCast

Program je vyvinutý společností NovaCast, S.A., Švédsko. Při výpočtu průběhu plnění dutiny formy je souběžně řešena i rovnice proudění a prostupu tepla. Uživateli poskytuje především ucelený pohled na průběh plnění, tuhnutí a pro stanovení velikosti a rozložení chyb pro libovolný druh slitiny. Teplotní pole odlitku na konci plnění jsou následně využity pro simulaci tuhnutí. Při simulaci se v úvahu bere proudění nestlačitelné kapaliny, Reynoldsovo číslo, třecí ztráty ve vtokovém systému formy, změna hustoty kovu během tuhnutí a velikost objemových změn.

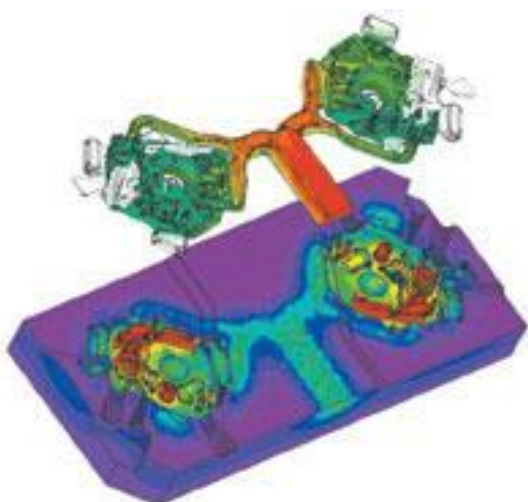
Program disponuje vlastní databází tepelně fyzikálních vlastností slitin a materiálů forem, která se dá upravovat a doplňovat. Vizualizace je provedena v 3D podobě s možností animace procesu. Program je schopen zobrazit vektory proudění, rozložení teplot tekuté fáze, rozložení staženin v 2D nebo 3D formátu a časové průběhy teplot.



11.2. PamCast

Tento program je produktem společnosti ESI Group, Francie. Oproti programu NovaFlow & Solid je preciznější a detailnější. S vysokou přesností a bez jakýchkoliv aproximací dokáže řešit Navier-Stokesova rovnice turbulentního proudění kovu a vzduchu současně s tepelnou bilancí. Uživatel zadává vstupní parametry v závislosti na času a teploty. Při analýze lze animovat pohyb volné hranice kovu, rozložení tuhé a tekuté fáze, kritického podílu tuhé fáze, predikovat rozložení a vznik staženin atd.

Pomocí simulace je možné optimalizovat i nastavení stroje tak, aby v plicích komoře nedocházelo ke vzniku turbulentního proudění taveniny a tím se snižoval podíl styku povrchu taveniny se vzduchem.



11.3. Simtec - Wincast

Je kompletním a všestranným nástrojem pro optimalizaci konstrukce a výrobního procesu produkce odlitků a nabízí široký rozsah informací jako:

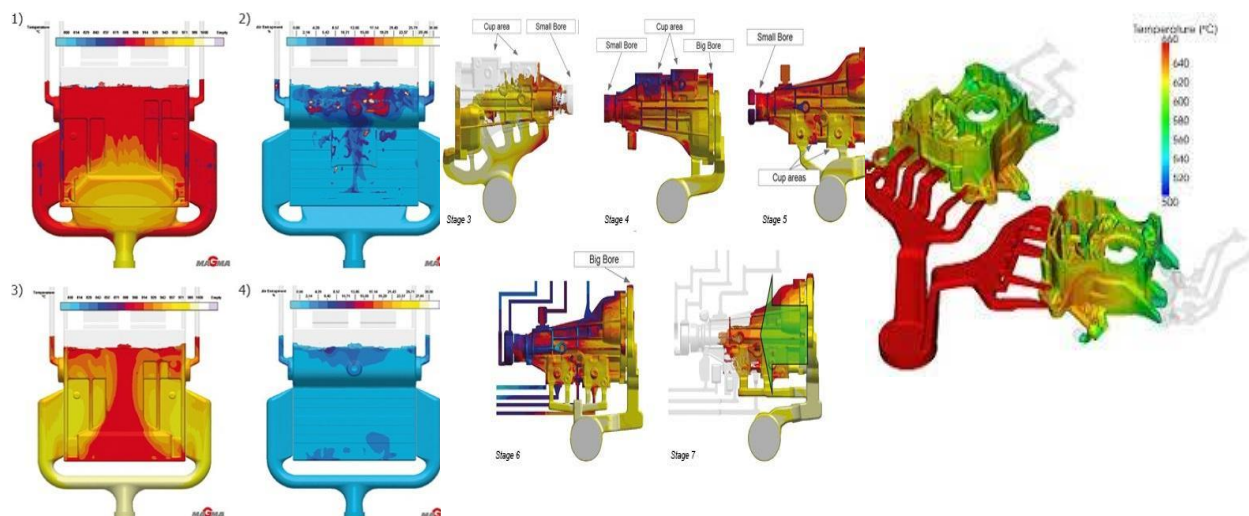
- zbytkové pnutí,
- smršťování průběh lití a ochlazování odlitku,
- a deformace po odlití,
- vznik pórovitosti,
- mikrostruktura materiálu,
- pevnostní vlastnosti součástek,
- vhodnost zvoleného lícího systému,
- průběh teplot a návrh chlazení při kovových formách.

Disponuje funkcemi a moduly urychlujícími přesné nastavení a posouzení specifických parametrů technologie tlakového lití a termofyzikálních vlastností materiálů. Jednou z výhod je i to, že uživatel

není nucen importovat tvar odlitku z jiných programů, ale může jej tvořit a upravovat přímo v programu. Možnost importační a komunikace s jinými programy je zajištěna řadou rozhraní (FEM, VDA, STL, ...).

11.4. Magmasoft

Patří k nejznámějším simulačním softwarem. Je určen pro 2D a 3D simulace plnění a tuhnutí odlitků, tepelného toku a tepelného pole a výpočtu zbytkového pnutí. Tento program je výkonným nástrojem, pomocí kterého lze dosáhnout snížení zmetkovosti, nákladů a zvýšení využití kovu. Vyznačuje se krátkou dobou výpočtu, vysokou přesností, efektivností a jednoduchou obsluhou.



12. Speciální technologie v slévárenství

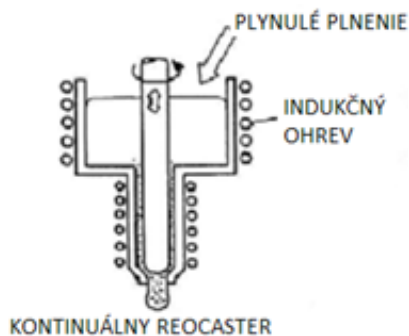
12.1. SEMI SOLID METAL (SSM) PROCES

Semi solid metal je metoda odlévání kovů a jejich slitin, které se nacházejí v částečně tuhém stavu (teplota se nachází mezi teplotou likvidu a solid). Stav těchto materiálů je podobný konzistenci horké plastelíny, tj thixotropní stav materiálu. Na obr. je uveden polotovar obsahující 55 až 60% krystalické fáze, který lze krájet nožem.



12.2. Rheocasting

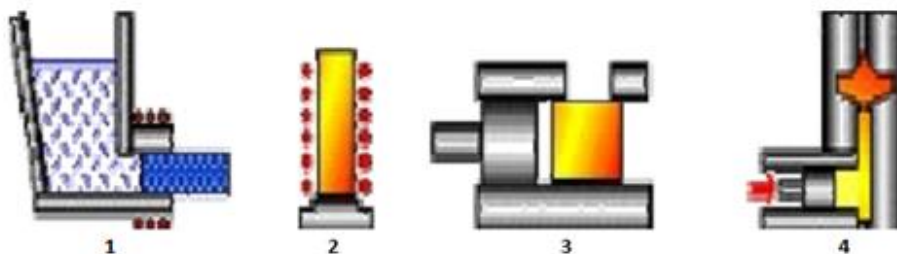
Rheocasting (reolatie) - je v podstatě modifikovaná metoda, která využívá kašovitého stavu materiálu. Vzhledem k tomu, že pro přípravu materiálu polotovaru se využívají zákonitosti rheologie, proto se tento způsob označuje jako rheolatie. Zařízení je tvořeno dvěma válci.



12.3. Thixocasting

Thixocasting (thixoliatie) - v podstatě modifikovaná metoda SSM. Základem pro další zpracování je specificky připraven materiál, nejčastěji kontinuálním litím, který se dělí na tablety. Tyto tablety se ohřívají indukčním způsobem tak, aby podíl pevné fáze byl cca 60 až 65% objemu. Pak se vkládají do horizontální komory tlakového stroje. Odlitky se vyrábějí podobným způsobem jako při rheoliatí. Také se zachovává duplexní struktura se všemi pozitivními vlastnostmi.

Popis: 1 - výroba kontinuální litého polotovaru ze speciálně připravené taveniny a jeho rozdělení na tablety, 2 - ohřev tablety indukčním teplem, 3 - založení tablety do tlakového stroje, 4 - injektáž ohřátého polotovaru do dutiny formy

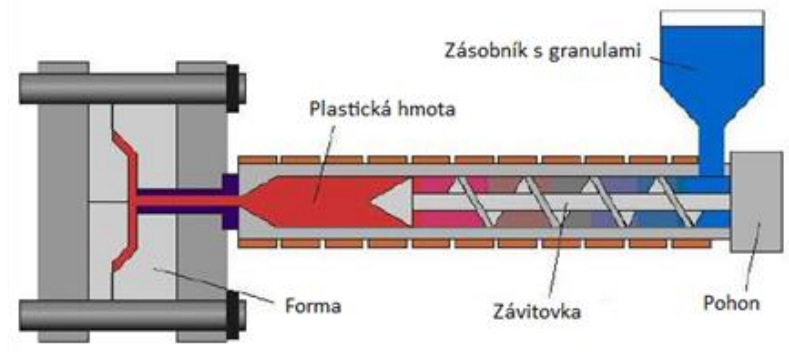


12.4. Thixoforming

Thixoforming (thixotváření) - je podobný způsob jako thixolití. Také využívá všeobecně známé přednosti metody SSM, resp. metody thixocasting. Také thixotváření využívá polotovary, které byly získány kontinuálním litím a jejich nařezáním na tablety. Indukční ohřev tablet je na takové teplotě, aby podíl pevné fáze jejich objemu byl 70%. Hlavní rozdíl mezi thixotvářením a thixolitím je v podílu pevné fáze v tabletě materiálu, která se zakládá do formy a také je rozdíl v použitém stroji. Při thixotváření se zahřáté tablety postupně vkládají do speciální formy upevněné na tvářecím lisu.

12.5. Thixomoulding

Thixomoulding je metoda výroby odlitků, která je založena na zahřátí kovového prášku nebo granulátu na základě hořčíku nebo hliníku ve speciálním lisovacím stroji.



13. Seznam použité literatury

GAŠPÁR, Š., PAŠKO, J. *Technológia výroby hliníkových odliatkov tlakovým liatím*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2015. ISBN 978-80-553-2236-0.

GAŠPÁR, Š., PAŠKO, J., MAJERNÍK, J. *INFLUENCE OF STRUCTURE ADJUSTMENT OF GATING SYSTEM OF CASTING MOULD UPON THE QUALITY OF DIE CAST*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM - Verlag, 2017. 82 p. ISBN 978-3-942303-47-7.

MAJERNÍK, J. *Problematika návrhu vtokových soustav permanentních forem pro lití kovů pod tlakem*. 1st ed. Stalowa Wola: Wydawnictwo Sztafeta Sp. z o.o, 2019. 94 p. ISBN 978-83-63767-63-1.

PAŠKO, J., GAŠPÁR, Š. *Technological Factors of Die Casting*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2014. 93 p. ISBN 978-3-942303-25-5.

RUŽBARSKÝ, J., PAŠKO, J., GAŠPÁR, Š. *Techniques of Die Casting*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2014. 199p. ISBN 978-3-942303-29-3.

FORMY A LITÍ KOVŮ

1. Výroba forem a jader

1.1. Formování

- ruční
- strojní

Pro výrobu jednorázové formy se používá formovací rám, který může být kruhového, čtvercového anebo obdélníkového tvaru. Stěny má perforované (děrované), po stranách má oka.

Při ručním formování se používají šablony:

- rovinné - příčné a podélné
- rotační

Šablona je modelářské zařízení (dřevěné), které má aktivní hranu vyztuženou plechem - pro zvýšení životnosti. Je vyrobená z desky. Využívá se při velkorozměrných pravidelných odlitcích jako model.

- **výhody:** nízká náročnost na materiál, málo odpadu při výrobě
- **nevýhoda:** namáhavá náročná práce

Při ručním formování známe formování na nedělený model (vyřezáním anebo pomocí šněrovačky) anebo formování na dělený model.

1.1.1. Strojní formování

Provádí se vždy na dělený model, přičemž se používá modelová deska, avšak na rozdíl od běžné modelové desky má tato deska kolíky, na které se nasazuje formovací rám, čímž se zabezpečí 100% reprodukovatelnost polohy dutiny odlitku oproti rámu. Každá část složené formy se vyrábí samostatně:

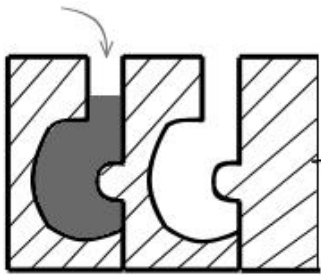
- **lisováním** - při výrobě lisováním vzniká problém, že formovací směs okolo modelu v rámu není rovnoměrně zpevněná. Nejméně zpevněná je tam, kde je nejvyšší sloupec. Z toho důvodu se volí tvarová lisovací deska.

- **setřásáním** - nejvíce je upevněná formovací směs okolo modelu v dolní poloze. Ke zpevnění dochází kinetickou energií sloupce formovací směsi, přičemž výška zdvihu je 10-100mm a počet zdvihů za 1 min je 120 až 150.
- **metáním** - používá se při výrobě velkorozměrných výrobků
- **foukáním** - při výrobě jader - jaderník se vyplní postupným usazováním jádrové směsi (málo používané)
- **vstřelováním** - též při výrobě jader - dochází k přemístění jádrové směsi do jaderníku ve zlomku sekundy

1.1.2. Bezrámové formování

Vstřelování + lisování

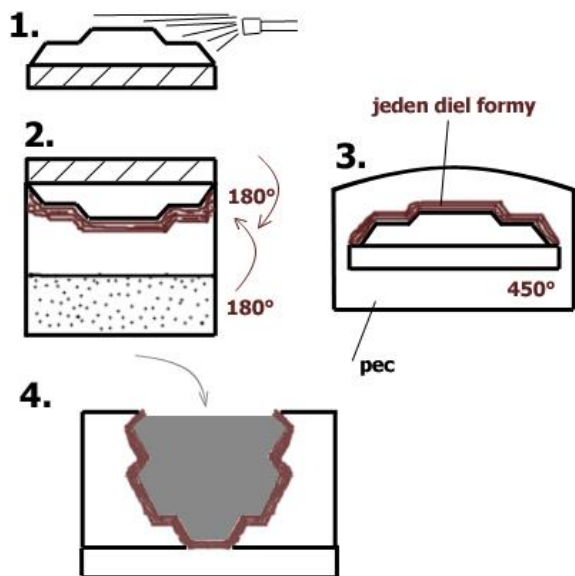
Vyrábí se jím až 300 forem za hodinu – obr. 1.1



Obr. 1.1 Bezrámové formování

Výroba skořepinových forem na kovový model

Kovový model se předeřeje a postříká se silikonovým olejem, nasadí se do zásobníku, překlopí se (2x), skořepina se dá do pece (přibližně 450 °C), uděláme ještě jednu a zaformujeme – obr. 1.2.



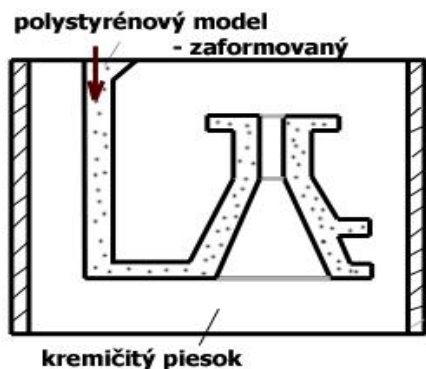
Obr. 1.2 Skořepinové formy na kovový model

Výroba skořepin na vytavitelný model

Stromečkový model z vosku se ponoří do tekutého pojiva, následně se posype křemičitým pískem, to se opakuje, dokud se nevytvoří dostatečně hrubá skořepina, v obrácené poloze se stromeček ponoří do horké vody, přitom dojde k roztavení a vytečení vosku, samotná skořepina se vypálí do červeného žáru – vznikají velmi přesné výrobky.

Výroba skořepin na spalitelný model

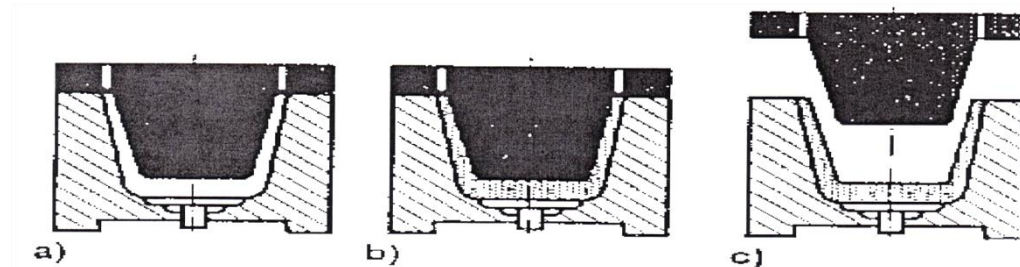
Jedná se o polystyrenový model - polystyren se spaluje při 100 °C, dokola vzniká H₂O+CO₂, slepí křemičitý písek a tím se vytvoří tenká skořepina – obr. 1.3.



Obr. 1.3 Skořepinová forma se spalitelným modelem

Vytvrzování jader

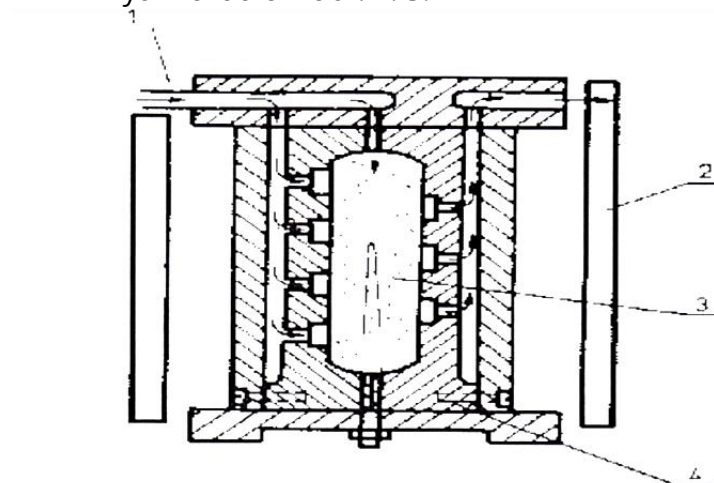
- v teplých jadernících - HOT-BOX - křemičitý písek + pojivo (živice) - kovový jaderník - obr. 1.4.



Obr. 1.4 Princip výroby dutého jádra metodou Hot-Box

- a) zahřátý jaderník;
- b) vytvrzování formovací směsi teplem jaderníku;
- c) rozebrání jaderníku a uvolnění jádra

- ve studených jadernících - COLD-BOX - vznikají chemické reakce - plynové vytvrzovací - obr. 1. 5.

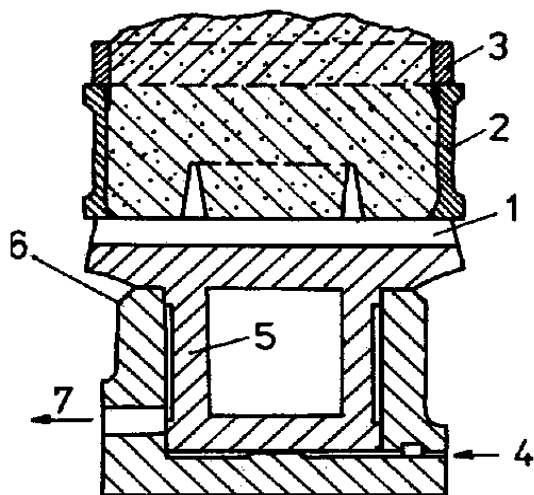


Obr. 1.5 Jaderník pro metodu Cold-Box

- 1) přívod plynného katalyzátoru; 2) odsávání; 3) jádro; 4) jaderník

1.2. Speciální způsoby výroby odlitků

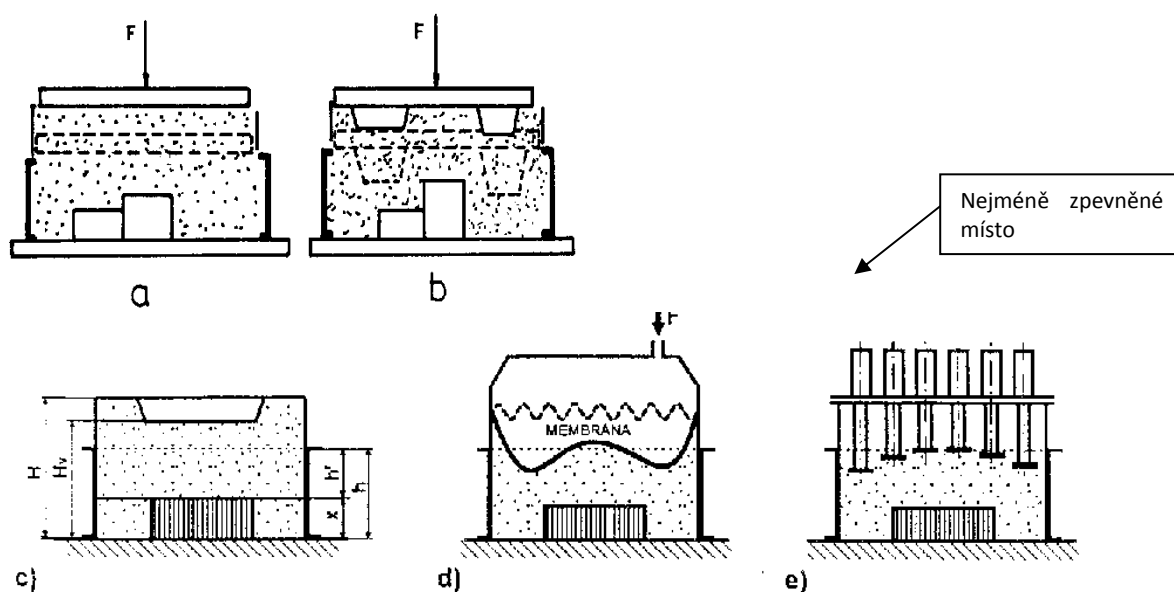
Výroba forem setřásáním – obr. 1. 6



Obr. 1.6 Forma vyráběná setřásáním

1) modelová deska, 2) formovací rám, 3) pomocný rám, 4) přívod stlačeného vzduchu, 5) setřásací stůl, 6) stojan stroje, 7) výfuk vzduchu

Výroba forem lisováním – obr. 1.7

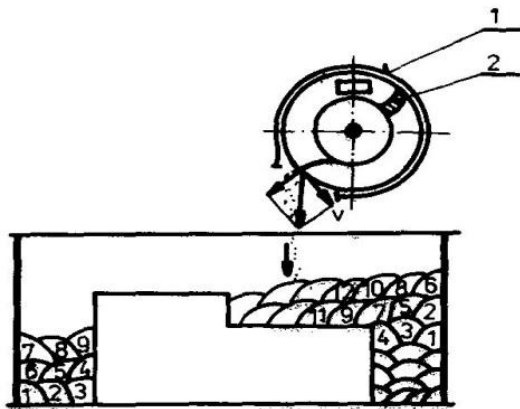


Nejméně zpevněné místo

Obr. 1.7 Forma vyráběná lisováním

a) rovná lisovací deska, b) tvarová lisovací deska, c) lisování rovnou lisovací deskou s před úpravou povrchu směsi, d) lisování pružnou membránou, e) lisování dělenou lisovací hlavou

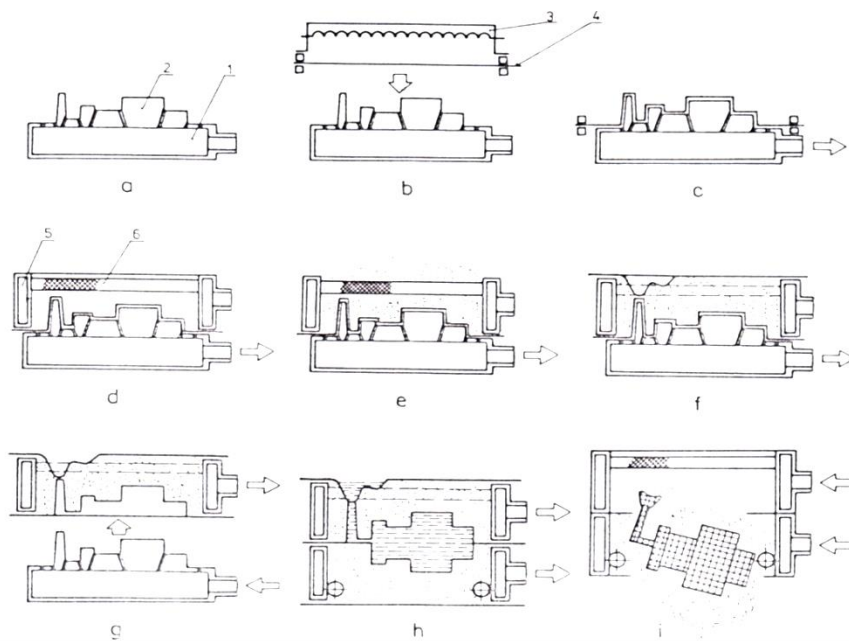
Výroba forem metáním – obr. 1.8



Obr. 1.8 Forma vyráběná metáním

1 – vřací hlava, 2 – vřací lopatka

Vakuové formování – obr. 1.9



Výroba foriem na voskovo - vytaviteľný model

a – model, b – výroba voskových modelov, c – spojovanie voskových modelov do stromčeka, d – máčanie stromčeka do suspenzie, e – sypanie piesku na stromček, f – odvoskovanie formy, g – plnenie vypálenej formy kovom

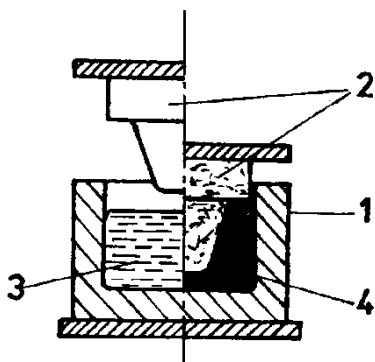
Obr. 1.9 Způsob vakuového formování

1) modelová deska, 2) model, 3) ohřívací těleso, 4) fólie, 5) horní formovací rám, 6) nasávací roura

a) výchozí poloha modelu, **b)** ohřev fólie, **c)** napnutí změkklé fólie na model působením vakua ve forem. rámu, **d)** umístění formovacího rámu na model, **e)** vyplnění forem. rámu suchým pískem, **f)** po vytvoření vtokové jamky přikrytí forem. rámu druhou fólií, **g)** zavzdušnění modelové desky a odebrání forem. rámu, **h)** spojení dvou půlek formy do jednoho celku a vyplnění formy kovem, **i-** zrušení vakua v obou formovacích rámech a vyjmutí odlitku

Metóda litie a lisovanie – obr. 1.10

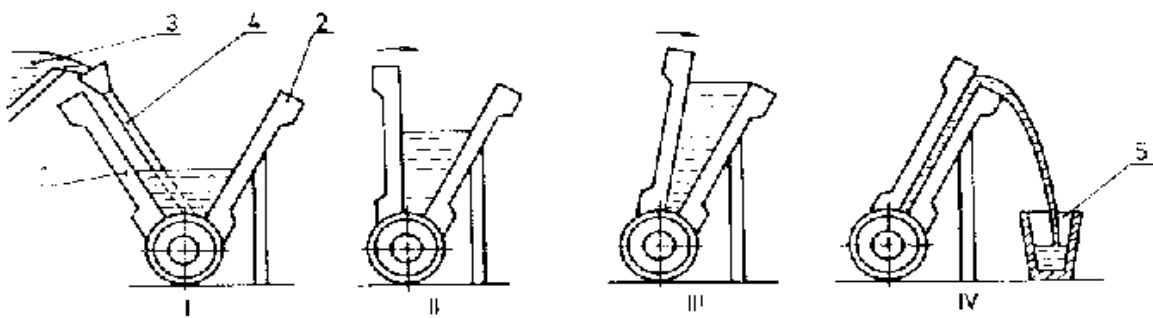
Lití a lisování – obr. 1.10



Obr. 1.10. Metóda lití a lisování

1) forma, 2) lisovací píst, 3) lisovaný tekutý kov, 4) odlitek

Výroba odlitků vytlačováním taveniny z formy – obr. 1.11



Obr. 1.11 Způsob výroby odlitků vytlačováním taveniny z formy

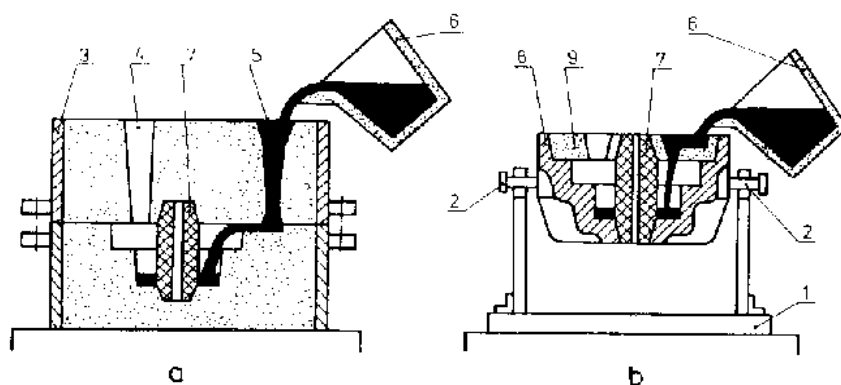
1, 2) pohyblivé části formy, 3) lící pánev, 4) vtoková roura, 5) pánev
I - plnění formy kovem, II - tvarování odlitků působením lisovníku, III - vyhození odlitku z formy, IV - odlévání čepů

1.3. Odlévání forem – gravitační lití a zvláštní způsoby lití

Výroba odlitků gravitačním litím s použitím sklopné licí pánve – obr. 1.12

Způsob výroby odlitků gravitačním litím se zpravidla vykonává dvěma principy:

- a) princip gravitačního odlévání do jednorázové pískové formy,
- b) princip gravitačního odlévání do trvale kombinované kokily.

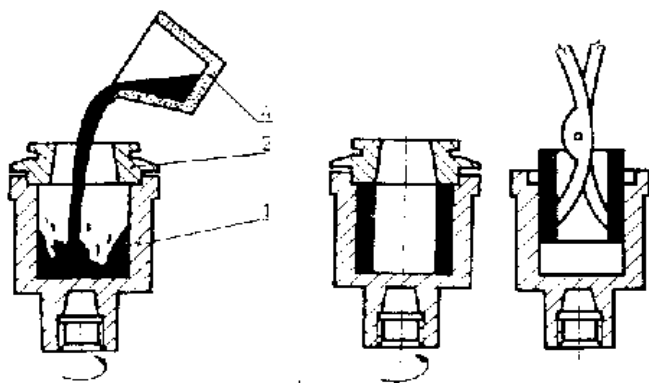


Obr. 1.12 Výroba odlitků gravitačním litím s použitím sklopné licí pánve

1) základová deska, 2) otočné čepy, 3) rám, 4) nálitek, 5) vtokový kůl, 6) licí pánev, 7) jádro, 8) kokila, 9) jádro

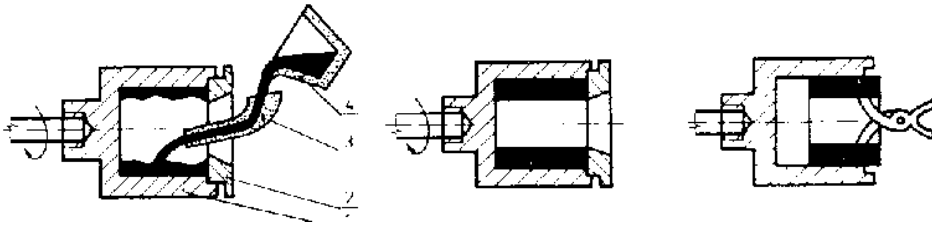
a) odlévání do jednorázové pískové formy, b) odlévání do trvale kombinované kokily

Výroba odlitků odstředivým litím – obr. 1.13, obr. 1.14



Obr. 1.13 Výroba odlitků odstředivým litím s vertikální osou otáčení

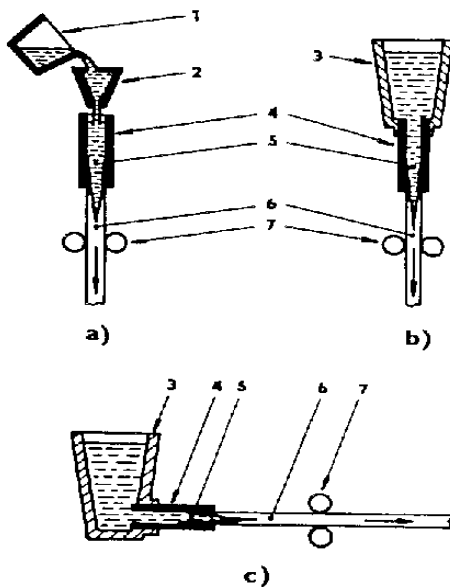
1) kokila, 2) víko, 4) licí pánev



Obr. 1.14 Výroba odlitků odstředivým litím s vodorovnou osou otáčení

1) kokila, 2) víko, 3) kovovod, 4) licí pánev,

Plynulé – kontinuální odlévání – obr. 1.15



Obr. 1.15 Plynulé - kontinuální odlévání

1) licí pánev, 2) nálevka, 3) kelímek, 4) forma, 5) tekutý kov, 6) ztuhlý materiál, 7) tažné válce

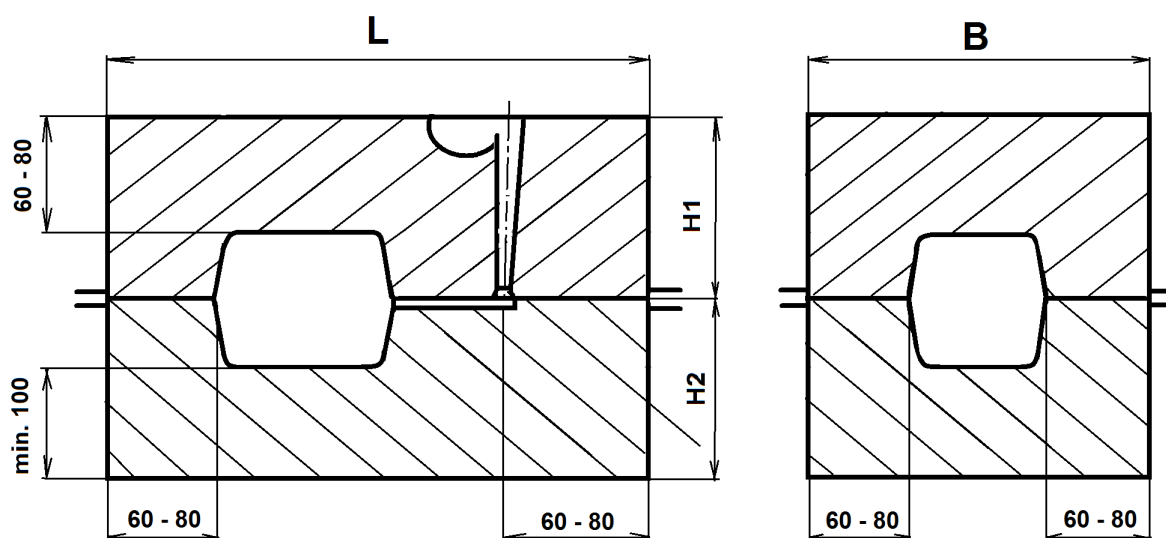
a) vertikální otevřený systém, b) vertikální uzavřený systém, c) horizontální uzavřený systém

2. Namáhání forem při odlévání

2.1. Volba formovacího rámu

Při volbě formovacího rámu se vychází z umístění modelu ve formě, přičemž se dodržují orientační vzdálenosti modelu od formovacího rámu podle obr. 2.1.

Formovací rámy: tvoří pevný a kompaktní obal formy, umožňující její zhuštění a manipulaci s ní. Mohou být různého tvaru, ale nejčastěji se používají obdélníkového nebo čtvercového průřezu. Na rámech se nachází patky s otvory určenými ke skládání forem pomocí skládacích kolíků. Ty zajišťují přesnou a neměnnou vzájemnou polohu částí formy po jejím rozebrání a opětovném složení.



Obr. 2.1 Orientační vzdálenosti modelu od formovacího rámu

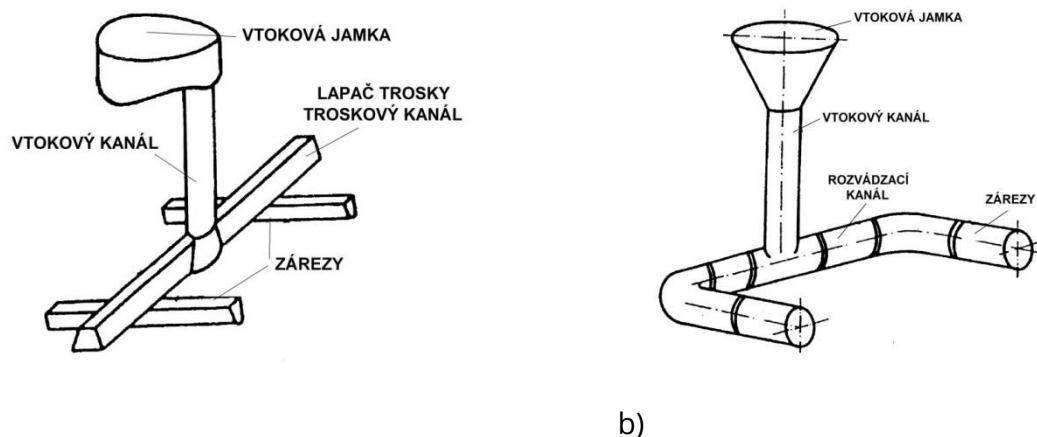
Na základě takto zjištěných hodnot délka x šířka x výška ($L \times B \times H$), resp. při kruhovém tvaru formovacího rámu průměr x výška ($D \times H$) se formovací rám označí následovně:

HR $L \times B \times H1$ (horní rám),
DR $L \times B \times H2$ (dolní rám).

Vtoková soustava

Vtoková soustava je systém kanálů, které slouží k zaplnění dutiny formy tekutým kovem (obr. 2.2). Ve vtokové soustavě se tekutý kov nesmí příliš ochladit, aby spolehlivě vyplnil formu, nesmí se zahlcovat plyny, zpěnit a pod. Tekutý kov též nesmí svým proudem poškodit stěny formy. Vtoková soustava musí zachytit co nejvíce nečistot. Tekutý kov má

být ve formě rozvedený tak, aby jeho tuhnutí bylo usměrněné a zabránilo se tak vzniku staženin.



a)

b)

Obr. 2.2 Vtoková soustava

a) pro odlévání litiny, b) pro odlévání ocele

Základní prvky vtokové soustavy jsou:

- **vtoková jamka** – slouží k zachycení proudu kovu z lící pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu,
- **vtokový kanál** – slouží k přivedení tekutého kovu z vtokové jamky do rozvodného kanálu,
- **rozvodný (struskový) kanál** – rozvádí kov od vtokového kanálu k vtokovým zářezům a zachytává strusku a nečistoty, které tekutý kov strhl,
- **zářezy** – spojují rozvodný kanál s dutinou formy,
- **výfuk** – odvádí plyny a páry, které vznikají při lití.

2.2. Formování

Stanovení množství formovacího písku pro zaformování

Čistá spotřeba písku je daná rozdílem objemu všech použitých rámců k formování a objemem modelu. K tomu je třeba připočítat objem jádra. Pro výpočet hmotnosti formovacích hmot počítáme se specifickou hmotností písku $1,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Složení formovací směsi pro menší odlitky:

- | | | |
|---------------|---------------|------------|
| • šedá litina | použitý písek | 75 – 90 %, |
| | čistý písek | 22 – 8 %, |
| | kamenné uhlí | 3 – 2 %, |

Jádrová směs:

- šedá litina čerstvý písek 98 – 99 %,
 sulfitový louh 1 – 3 %,
pro zvlášť tenkostěnné jádra se používá 1,5 % lněný olej.

Výpočet síly působící na vršek formy při lití

Při odlévání je vršek formy zdviháný značnou silou, která vzniká působením vztlaku jádra ve známkách a tlakem tekutého kovu na vršek formy. Při odlévání menších odlitek postačí upevnění rámu navzájem k sobě, čímž se vytvoří jeden celek. U větších odlitek se musí použít zatížení, zvlášť pro tento účel zhotovené s oky pro jeřáb.

Stanovení místa a objemu nálitku a chladítek

Následkem smrštění vznikne sraženina, která znehodnocuje odlitek. Proto se odlitek zvětšuje o nálitek, který se po ztuhnutí odstraní. Nejčastěji se používají nálitky u ocelových odlitek (ocel má největší smrštění). Při stanovení objemu nálitku (nejvhodnější průřez je kruhový) se vychází z objemu staženiny, která je přibližně 3,8% z výchozího objemu. Náletek se musí dimenzovat tak, aby se sraženina do něj vešla. Proto se volí poměr objemu staženiny k objemu nálitku 1:5, přičemž výška nálitku je:

$$h = (1,5 \div 2)d \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde:

d – průměr nálitku v mm.

Pokud není možné náletek umístit, přikládají se, nebo se přímo zformují, do těchto míst chladítka, která způsobí rychlejší ochlazení kovu a tak se předejde vzniku sraženiny.

2.3. Odlévání

Výpočet využití kovu

Je třeba určit stupeň využití kovu, což je poměr váhy hrubého odlitku k váze surového odlitku.

Hrubá váha odlitku je váha odlitku očištěného od vtoků, nálitek a jiných pomocných slévárenských přísad.

Váha surového odlitku je váha čistého kovu ztuhnutého ve formě.

Proces odlévání

Tekutý kov se odlévá do formy z pánve dopravované k formě jeřábem anebo na vozíku.

Pro šedou litinu se používá normální sklopná pánev, pro ocel na odlitky pánev se spodní výpustí.

Pro získání kvalitního odlitku je velmi důležitá rychlost lití. Teplota odlévaného kovu má být tak vysoká, aby kov dokonale zaplnil formu i v nejslabších stěnách. Výška teploty odlévání má vliv na jakost odlitku. Rychlost odlévání musí být tak vysoká, aby byl vtok během odlévání naplněný tekutým kovem a po odlití formy naplněný až k okraji. Tím se dosáhne toho, že nečistoty, struska i vyplavený písek zůstanou plavat na hladině tekutého kovu a nebudou proudem stáhnuté do formy. Současně je důležité nepřerušit proces odlévání, v opačném případě vzniká stejné nebezpečí, navíc tekutý kov se ihned pokrývá vrstvou oxidů, které zabraňují dokonalému spojení kovu.

2.4. Vyjímání odlitků a dokončovací operace

Uvolňování odlitků závisí na technologii formování (rámové, bezrámové) a konstrukci zařízení, které může být:

- **vytlačovací** (v sériové výrobě),
- **vytloukáci** (v kusové výrobě).

Vytlačování – provádí se pomocí tvarové desky umístěné na pístu pneumatického válce. Formovací materiál se vytlačí spolu s odlitkem z obou polovin formovacích ráků a potom následuje vytloukání formovací směsí.

Vytloukání se realizuje:

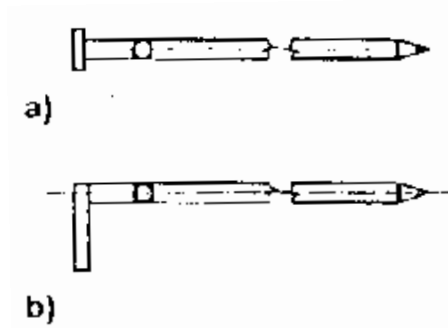
pneumatickými vibrátory, které se zavěsí na stěnu formovacího ráku nebo odlitku, na vytloukacích roštích, které jsou pozitivní anebo negativní. Pozitivní rošty jsou uloženy v ložiskách na ráku stroje a jsou rozkmitané pomocí excentrického hřídele. Nevýhodou je velká hmotnost vytloukacího stroje z důvodu eliminace ráků. Častěji jsou používány negativní rošty, které jsou volně uloženy na pružinách. Kmitání způsobuje otáčení průběžného hřídele se závažími, který způsobuje kmitání roštů,

- v rotačních uvolňovacích bubnech,
- vibračními vytloukacími dopravníky.

Další důležitou technologickou operací při odlévání je apretura odlitků. Slouží na odstranění zbytků po vtokových soustavách, výfucích, nálitcích, výroncích. Odstraňují se otřepy a hrubé chyby. U masovních odlitků se tyto zbytky odstraňují pneumatickými sekáči. Menší odlitky se opracovávají strojovým a ručním broušením.

Formovací pomůcky

Pískovače – používají se na vyztužení forem a jader. Zpevňují se jimi velké plochy, místa v blízkosti vtokové soustavy, výstupky a pod. Vyrábějí se z měkkého železného drátu a jsou povrchově upravené. pískovače (obr. 2.4) se vpichují do formy ručně.

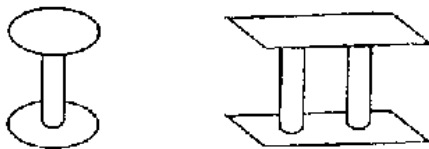


Obr. 2.4 pískovače

a) pískovače

b) pískovače s háčkem

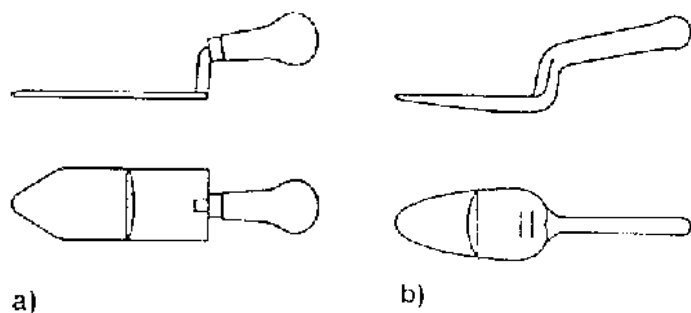
Podpěrky jader – používají se na zajištění správné polohy jádra v dutině formy. Zabraňují prohnutí jádra následkem vlastní hmotnosti nebo vztlakem po nalití taveniny. Vzdálenost nosných ploch podpěrek (obr. 2.5) se rovná tloušťce stěny odlitku. Jsou kovové a zpravidla se chrání proti korozi pocínováním. Po ztuhnutí taveniny se mají svařit tak, aby byly stěny odlitku homogenní.



Obr. 2.5 Podpěrky jader

Formovací nářadí

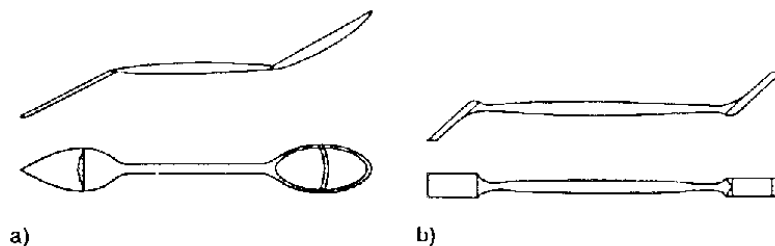
Ubíječky – základní nářadí při ručním formování. Ruční **ubíječky** mohou být dřevěné anebo kovové. **Hladítka** – jsou určena na úpravu a vyhlazení líce formy po vyjmutí modelu (obr. 2.6).



Obr. 2.6 Hladítka

a) ploché b) lžícovité

Lancety – používají se na vyřezávání vtokových zářezů, jamek, anebo na úpravu chyb formy. Mají rozličné velikosti a tvary (obr. 2.7).



Obr. 2.7 Lancety

a) lžícovitá
b) plochá

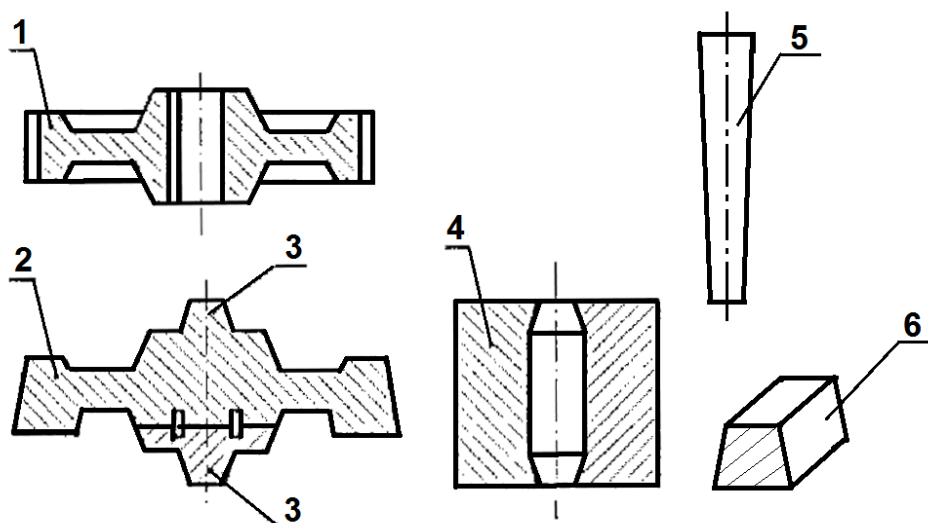
Pomocné nářadí

Modelové desky, slévárenské lopatky, průdušník na vytvoření průduchů, háky anebo šrouby na vytahování modelů, štětce pro vlhčení formovací směsi, zarovnávací pravítko, ruční síta na modelový písek, dřevěná a gumová kladiva, pinzety, atd.

2.5. Příklad postupu formování pomocí děleného modelu a jádra

Na obr. 2.8 je znázorněné ozubené kolo (1), které se bude vyrábět odléváním. Jde o odlitek s vnitřním otvorem předlévaný pomocí jádra. V tomto případě se na vytvoření dutiny ve formě použije dělený model (2) – model skládající se ze dvou částí, navzájem spojených a vystředěných pomocí spojovacích čepů. Na obou částech modelu se nacházejí přídatné části – známky (3), které nám po zaformování modelu vytvoří ve formovací směsi lůžka na uložení jádra – jádro je uložené ve formě pomocí kuželovitých čepů. Jádro vyrobíme pomocí jaderníku (4). Dřevěný model vtokového kanálu (5) je shodný s modelem výfukového kanálu.

Pro tento způsob formování je charakteristické, že model odlitku vytváří dutinu ve vrchní i ve spodní polovině formy.



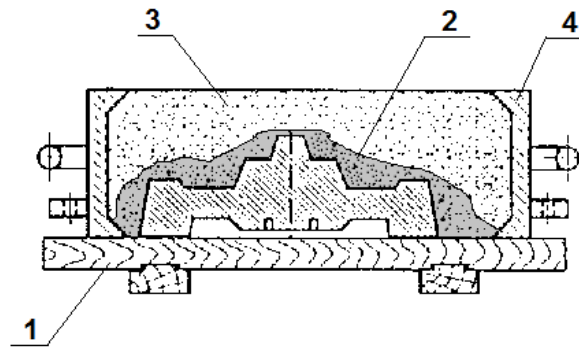
Obr. 2.8 Výrobek s modelovým zařízením a vtokovou soustavou

1) součástka (ozubené kolo), 2) dělený model, 3) známka, 4) jaderník, 5) model vtokového kanálu, 6) model lapače strusky

Zaformování spodku formy

Na očištěnou modelovou desku (1) se položí spodní formovací rám (4) a do prostoru se vhodně umístí spodní část modelu odlitku (obr. 2.9). Aby bylo možné později model ze zhotovené formy vytáhnout, popráší se dělícím prostředkem, který zabrání nalepení formovací směsi na model. Ručním sítem prosejeme na model vrstvu připravené nakypřené formovací směsi s tloušťkou asi 2- 3cm (modelová směs) - (2), kterou ručně přitlačíme k modelu. Prostor formovacího rámu doplníme formovací směsí (3).

Formovací směs zhustíme pěchováním pomocí ruční pěchovačky od vnějšího obvodu po střed. Postupně přidáváme další vrstvy formovací směsi, které obdobně upěchujeme, dokud nezaplníme formovací rám zhruba po horní okraj. Nakonec seřízneme nadbytečnou směs ocelovým zarovnávacím pravítkem podle horního okraje rámu. Tím vytvoříme rovinnou plochu, na které bude spodek formy ležet po jejím otočení.



Obr. 2.9 Zaformování spodní části formy

1) modelová deska, 2) modelová směs, 3) formovací směs, 4) formovací rám,

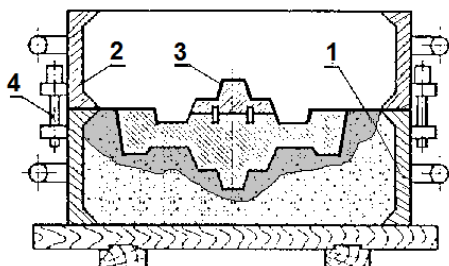
Z důvodu nutnosti odvádění plynu vyvíjejících se při zahřátí směsi tekutým kovem je třeba udělat odzdušnění formy. Realizuje se to pomocí průduchů, které nemají zasahovat na model. U větších forem se vedou dělicí rovinou odzdušňovací kanálky, do kterých ústí průduchy.

Otočení spodku formy o 180°

Po zaformování spodní části formy otočíme formovací rám i s podložkou (aby model nevypadl) o 180° a položíme na další podložku.

Zaformování vršku formy (obr. 2.10)

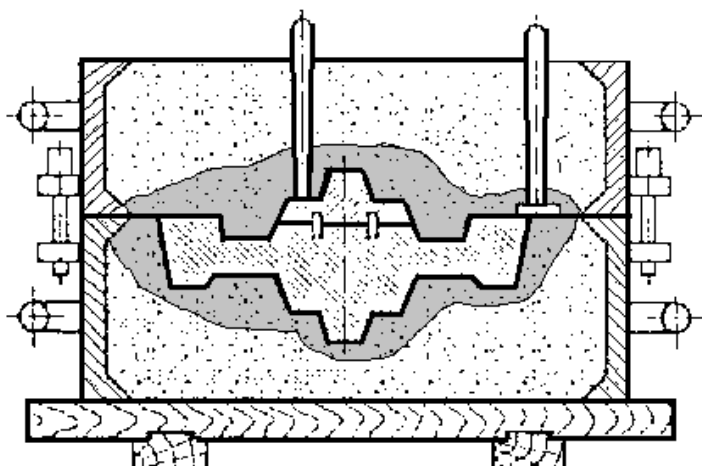
Na spodní formovací rám (1) - (otočený o 180°) založíme vrchní formovací rám (2) pomocí vodících kolíků (4), které zasuneme do otvorů v patkách rámu. Kolíky nám zajistí přesnou vzájemnou polohu vršku a spodku, což bude důležité později, po rozebrání a opětovném složení formy.



Obr. 2.10 Založení vrchní části modelu a formovacího rámu

1) spodní formovací rám, 2) vrchní formovací rám, 3) vrchní část modelu, 4) vodící (distanční) kolíky

Na spodní část modelu přiložíme vrchní část modelu (3) - (obr. 2.11) a modely části vtokové soustavy tak, aby nebyly blízko stěn nebo příček rámu. Vršek formy se upěchuje a odvzdušňuje stejným způsobem jako spodek formy. Okolo vtokového kanálu se vyřeže vtoková jamka požadovaného tvaru. V případě, že jsme vtokovou jamku zhotovili pomocí modelu, tento uvolníme rozklepáním a vytáhneme z formy. Uvolníme a vytáhneme modely vtokového kanálu a výfuku.



Obr. 2.11 Zaformování vršku formy

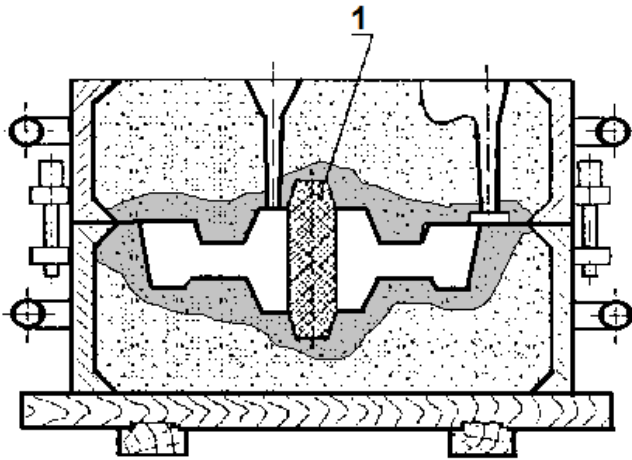
Rozebrání formy a vytáhnutí modelů

Dřevěným kladivem poklepeme po rozích vrchního rámu tak, aby se uvolnila styková plocha mezi spodkem a vrškem, jakož i mezi modelem a formovací směsí. Vodící kolíky povolíme, ale nevytahujeme je. Vrchní rám s povytáhnutými kolíky rovnoměrně zdviháme, až potom vytáhneme vodící kolíky. Vršek formy otočíme o 180° a položíme ho na dřevěnou podložku. Slévárenským štětcem navlhčíme okraj formovacího materiálu okolo modelu tak, aby se voda nedostala na model. Model odlitku, jakož i model rozvodného kanálu uvolníme rozklepáním a vyjímáme je pomocí háků, tyčky zabroušené do čtyřbokého jehlanu, nebo zašroubováním zvedáků. Zářezy vyřežeme do spodku formy – pokud jsme je nezhotovili pomocí modelu. Případné chyby povrchu ručně opravíme a zbytky nadrobené formovací směsi vyfoukáme vzduchem.

Složení formy a příprava na lití

Po vyjmutí jednotlivých částí modelu se do formy založí jádro, které bylo vyrobené pomocí jaderníku. Jádro (1) se zakládá do spodku formy – čep jádra musí zapadnout do lůžka vytvořeného známkou na modelu. Na spodek formy nasadíme vršek, přičemž

jejich vzájemnou polohu zajistíme skládacími kolíky. Složenou formu dopravíme na odlévací pole (obr. 2.12). Vršek formy zatížíme závažím, čímž zabráníme jeho případnému nadzdvihnutí při odlévání následkem vztlakových sil.



Obr. 2.12 Složená forma se založeným jádrem

1) pískové jádro

Vzorový příklad postupu formování a odlévání součástky na obr. 2.13 a obr. 2.14.

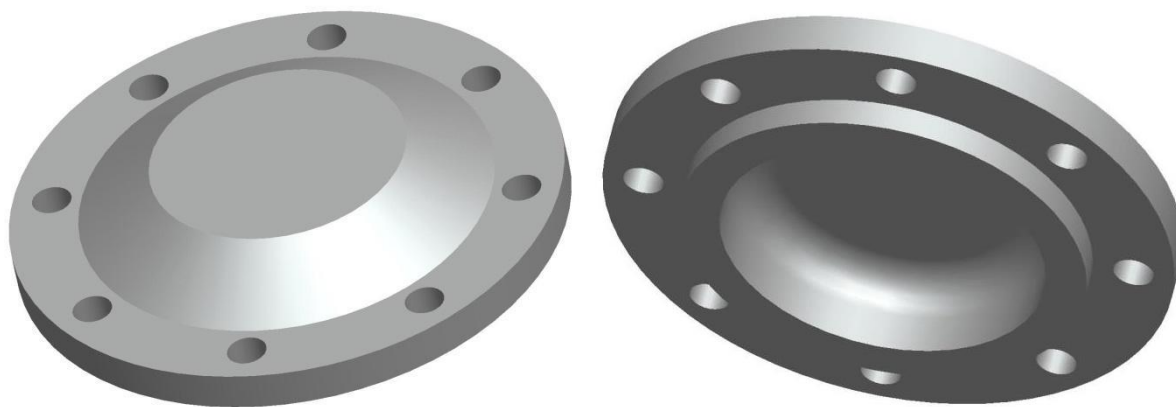
- Název součástky: VEKO
- Počet kusů: 20
- Formování (způsob): ruční
- Odlévání: gravitační – do pískových forem
- Materiál součástky: šedá litina (STN 42 2420) (tab. 2.1 a tab. 2.2)

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu STN 42 2420 v %

C	Mn	Si	P	S
3,2	0,8	0,4	0,3	0,18

Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti materiálu STN 42 2420

R _m [MPa]	R _{mo} [MPa]	E [GPa]	KCU 3 [J.cm ⁻²]	HB	Hustota ρ (pri 20 °C) (10 ³ .kg.m ⁻³)	Teplota topení (°C)
100 215	- ≥ 380	≥ 109	6,6	≤ 220	7,0	1150 – 1300

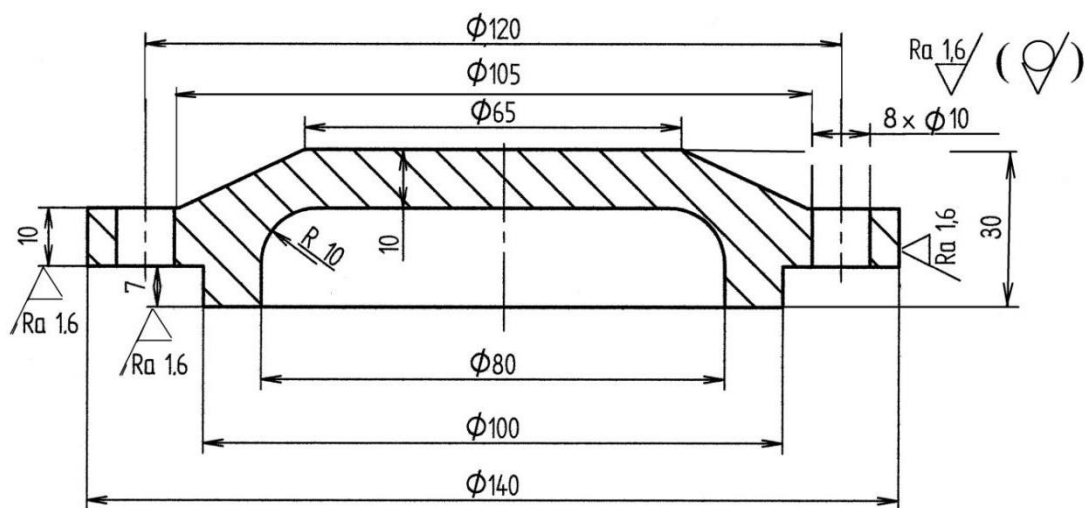


A

b)

Obr. 2.13 Součástka vyrobená odléváním v axonometrii

a) pohled shora, b) pohled zdola



Obr. 2.14 Výkres součástky

Výpočet hmotnosti součástky:

$$m = \rho \cdot V \quad [\text{kg}] \quad (2.2)$$

kde: m – hmotnost součástky [kg],
 ρ – hustota materiálu [103 kg.m^{-3}],
 V – objem součástky [cm^3].

Hmotnost součástky na obr. 5

$$m = 7,0 \cdot 103 \text{ kg.m}^{-3} \cdot 182,32 \text{ cm}^3$$

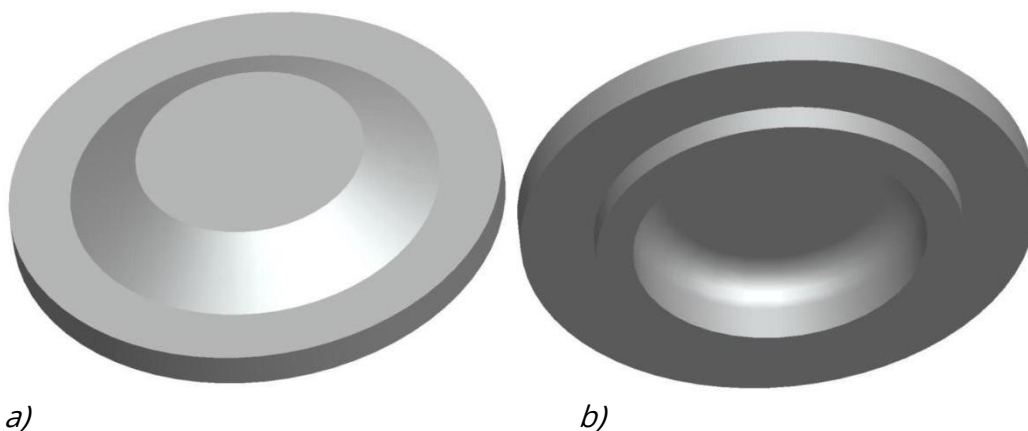
$m = 1,28 \text{ kg}$
Hmotnost 20 odlitků bude 25,6 kg.

Návrh modelového zařízení

- Volba materiálu modelu:

vzhledem ke kusové výrobě je vhodným materiálem pro výrobu modelu dřevo. Podle STN 04 2008 bude pro odlitky ze šedé litiny použitý dělený dřevěný model, jehož povrch bude mít červenou barvu.

Vzhledem k tomu, že na víku se 8 děr $\varnothing 10\text{mm}$ předlévat nebude, není potřebné při návrhu modelu nad nimi uvažovat (obr. 2.15).

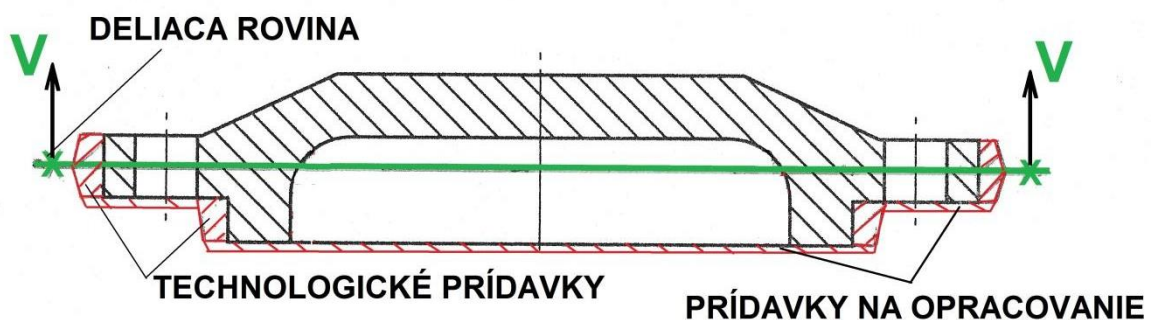


Obr. 2.15 Tvar součástky bez předlévaných otvorů v axonometrii

a) pohled shora, b) pohled zdola

- Volba dělicí plochy (roviny):

Dělicí rovina se na výkresech označuje plnou zelenou čarou ukončenou křížky a směrem zaformování. Pro součástku je volená dělicí rovina v nejširším místě součástky (obr. 2.16).



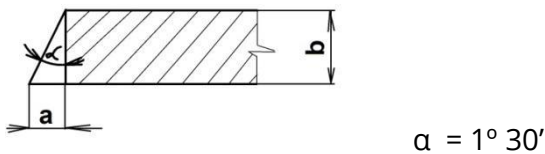
Obr. 2.16 Součástka s dělicí rovinou a přídávky

- **Volba přídávků na obrábění**

Přídávky na obrábění se na výkresech označují červenou barvou. Přídavek se nachází na plochách, u kterých je předepsaná drsnost, které není možné dosáhnout odléváním. Tyto přídávky jsou z odlitku odstraněné struskovými způsoby obrábění.

- **Návrh technologických úkosů**

Pro ulehčení vyjmutí modelu z formy je třeba použít technologické úkosy typu C ve smyslu STN 04 2021 (obr. 2.17).



Obr. 2.17 Technologický úkos typu C

- **Rozhodnutí o nutnosti předlévání otvorů**

Pro součástku na obr. 1.16 je potřebné předlévat otvor, neboť se jedná o kusovou výrobu a je splněná podmínka pokud $d > 50$ mm.

Pro šedou litinu platí vzta :

$$SL: d < 0,3 * h + 10 \quad [mm] \quad (2.3)$$

kd:

d – průměr otvoru,

h – výška otvoru,

Otvory pro šrouby (obr. 2.14):

$$10 < 0,3 * 10 + 10$$

$10 < 13 \Rightarrow$ z toho vyplývá, že otvory se nepředlévají

Dutina veka (obr. 2.15b):

$$80 < 0,3 * 20 + 10$$

$80 > 16 \Rightarrow$ z toho vyplývá, že je potřebné otvor předlévat

- **Volba formovacího rámu:**

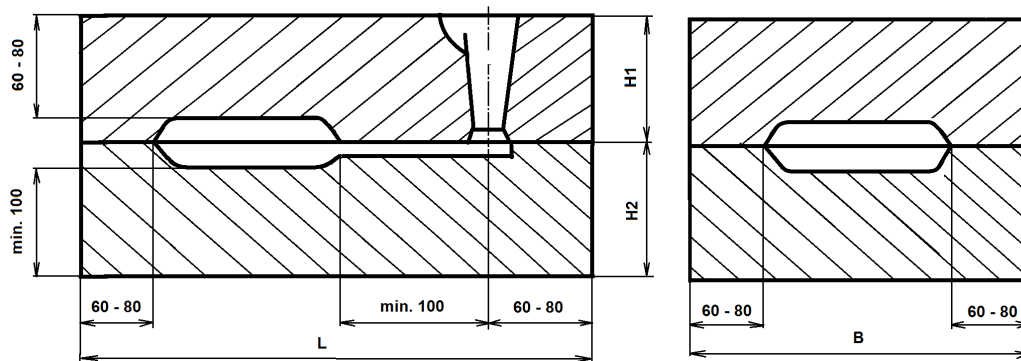
Rozměry formovacího rámu jsou voleny na základě rozměrů modelu a vtokové soustavy. Vzdálenost modelu od okrajů formovacího rámu je prezentovaná na obr. 2.18.

Rozměry formovacího rámu pro veško:

Horní rám HR L x B x H1 : 400 x 300 x 100 [mm]

Dolní rám DR L x B x H2 : 400 x 300 x 140 [mm]

Délka vtokových zářezů je 100 mm.



Obr. 2.18 Doporučené rozměry rámu

Výpočet vtokové soustavy

Při výpočtu vtokové soustavy se vychází ze zjednodušené hydrodynamické rovnice.

Výpočet plochy vtokových zářezů Sz:

$$\sum Sz = x \cdot \frac{\sqrt{G}}{\sqrt{HP}} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.4)$$

kde:

Sz – celková plocha zářezů,

G – hmotnost odlitku,

x – koeficient zohledňující tloušťku stěny a složitost odlitku tab. 2.3.

Pro řešenou součástku se x = 2,8.

Tab. 2.3 Koeficient x

	jednoduché odlitky				složitě odlitky		
Tloušťka stěny odlitku	3 - 4	5 - 9	9 - 15	> 15	3 - 4	5 - 9	9 - 15

[mm]							
x	3,8	3,2	2,8	2,4	5,8	4,9	4,3

Výpočet hmotnosti odlitku s vtokovou soustavou:

$$G = 1,5 \cdot m_o \quad [\text{kg}] \quad (2.5)$$

kde:

G – hmotnost odlitku s vtokovou soustavou, pro kterou počítáme 0,5 m_o [kg],

m_o – hmotnost odlitku

$$G = 1,92 \text{ kg}$$

Výpočet střední ferostatické výšky:

$$H_p = H - \frac{p^2}{2 \cdot C} \quad [\text{cm}] \quad (2.6)$$

$$H_p = 10 - \frac{1,8^2}{2 \cdot 3,0}$$

$$H_p = 9,46 \text{ cm}$$

kde:

C – výška odlitku [cm],

H_p – střední ferostatická výška [cm],

p – výška odlitku nad vtokovým zářezem [cm],

H – výška vtokového kanálu nad zářezem [cm],

Výpočet plochy vtokových zářezů:

$$\sum S_z = x \frac{\sqrt{G}}{\sqrt{HP}} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.7)$$

$$\sum S_z = 2,8 \frac{\sqrt{1,92}}{\sqrt{9,46}} = 1,26 \text{ cm}^2$$

Pro plochu jednoho vtokového zářezu platí vztah:

$$S_z = \frac{\sum S_z}{n} = \frac{1,26}{2} = 0,63 \text{ cm}^2 \quad (2.8)$$

kde:

n – počet vtokových zářezů

Pro výpočet plochy kanálu a plochy lapače u jednoduchých odlitků platí vztah:

$$S_K > S_L > \sum S_z = 1,4 : 1,2 : 1 \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} S_K &= 1,4 \cdot \sum S_z & S_L &= 1,2 \cdot \sum S_z \\ S_K &= 1,76 \text{ cm}^2 & S_L &= 1,51 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

kde:

S_K – plocha vtokového kanálu [cm^2]

S_L – plocha lapače strusky [cm^2]

Vtokový kanál má kruhový průřez a proto pro jeho výpočet platí vztah:

$$S_K = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ potom } d = \sqrt{\frac{4S_K}{\pi}} \quad [\text{cm}] \quad (2.10)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,76}{\pi}} = 1,4 \text{ cm}$$

V praxi se používají mírné podtlakové vtokové kanály kuželovitého tvaru s vrcholovým úhlem 3 – 5°.

Pro výpočet rozměrů lapače strusky na obr. 2.19 platí vztah :

$$S_L = 0,935 \cdot a^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2.11)$$

$$a = \sqrt{\frac{S_L}{0,935}} \quad [\text{cm}] \quad (2.12)$$

$$a = \sqrt{\frac{1,51}{0,935}} = 1,27 \text{ cm}$$

Při navrhování vtokové soustavy je potřebné dodržet podmínku, aby dolní průměr vtokového kanálu byl totožný se šířkou lapače strusky na horní straně. Rozměry lapače strusky budou následující:

$$0,7a = d \text{ kanálu} = 1,4 \text{ cm} \quad (2.13)$$

$$a = 2 \text{ cm.}$$

Výška lapače strusky lichoběžníkového průřezu je:

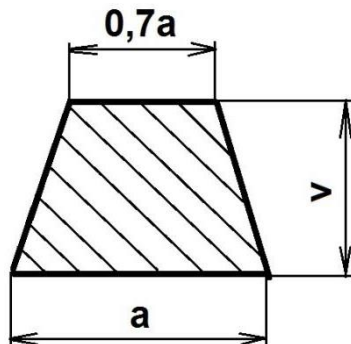
$$S_L = \frac{0,7a + a}{2} \cdot v \quad [\text{cm}^2] \quad (2.14)$$

$$v = \frac{2 \cdot S_L}{0,7a + a} \quad [\text{cm}] \quad (2.15)$$

$$v = \frac{2 \cdot 1,51}{1,4 + 2} = 0,89 \text{ cm}$$

kde:

v - výška lapače strusky



Obr. 2.19 Průřez lapače strusky

Pro výpočet rozměrů vtokových zářezů na obr. 2.20 platí vztah :

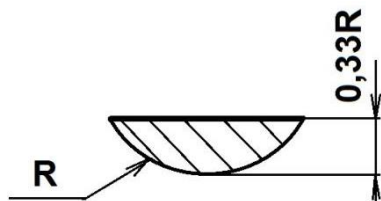
$$S_z = 0,285 \cdot R^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2.16)$$

$$R = \sqrt{\frac{S_z}{0,285}} \quad [\text{cm}] \quad (2.17)$$

$$R = \sqrt{\frac{0,63}{0,285}} = 1,48 \text{ cm}$$

kde:

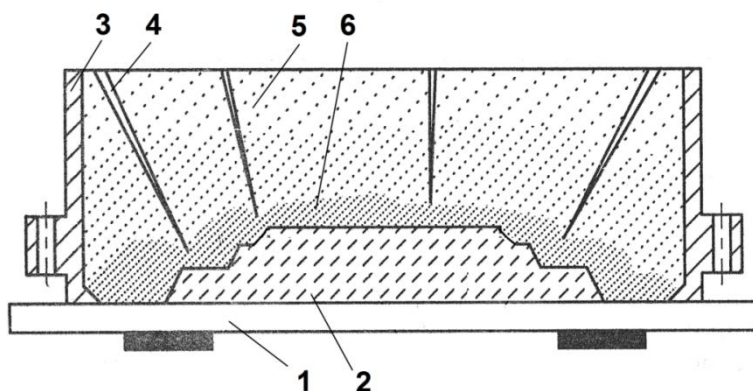
R – poloměr vtokového zářezu



Obr. 2.20 Průřez vtokového zářezu

Výfuk, který bývá většinou umístěný na nejvyšší ploše odlévané součástky, má stejně jako vtokový kanál kuželový tvar. Kužel má vrcholový úhel 2 – 4 °.

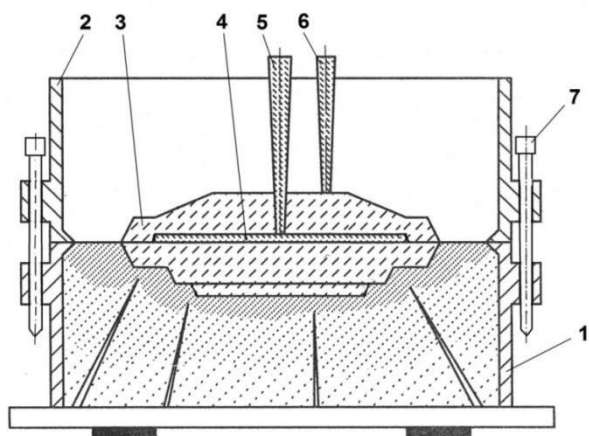
Na základě výpočtu, je možné vyrobit dělený dřevěný model součástky a vtokové soustavy. Spodní část modelu součástky a modelu jádra je možné zaformovat do spodní části rámu jako je to prezentované na obr. 2.21.



Obr. 2.21 Formování spodní části modelu

1) podmodelová deska, 2) spodní část dřevěného děleného modelu, 3) spodní rám formy, 4) průduchy, 5) výplňová formovací směs, 6) modelová směs

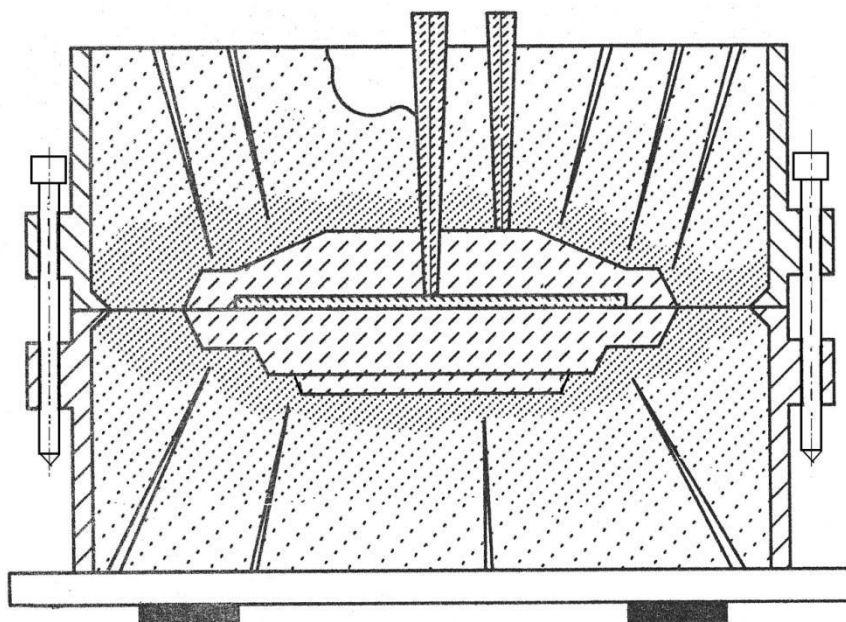
Po zaformování spodní části modelu, je spodní rám obrácený a spojený s vrchním rámem (obr. 2.22). Na spodní část modelu je umístěná vrchní část modelu a ve vzdálenosti min. 100 mm od modelu umístěný lapač strusky.



Obr. 2.22 Formování vrchní části modelu

1) spodní rám formy, 2) vrchní rám formy, 3) vrchní část dřevěného děleného modelu, 4) struskový kanál, 5) vtokový kanál, 6) výfuk, 7) distanční kolíky

Na lapač strusky je umístěný model vtokového kanálu, který je zaformovaný do modelové směsi a následně výplňové směsi. Stejně je zaformovaný i model výfuku (obr. 2.23). Délka obou modelů sahá nad úroveň horního formovacího rámu, z důvodu ulehčení jejich vyjmutí při rozebírání formy. Po zaformování je formovací směs upěchovaná např. pneumatickou pěchovačkou a ve formovací směsi jsou vytvořené průduchy. Kromě vtokového kanálu je do formovací směsi vyhloubená vtoková jamka.



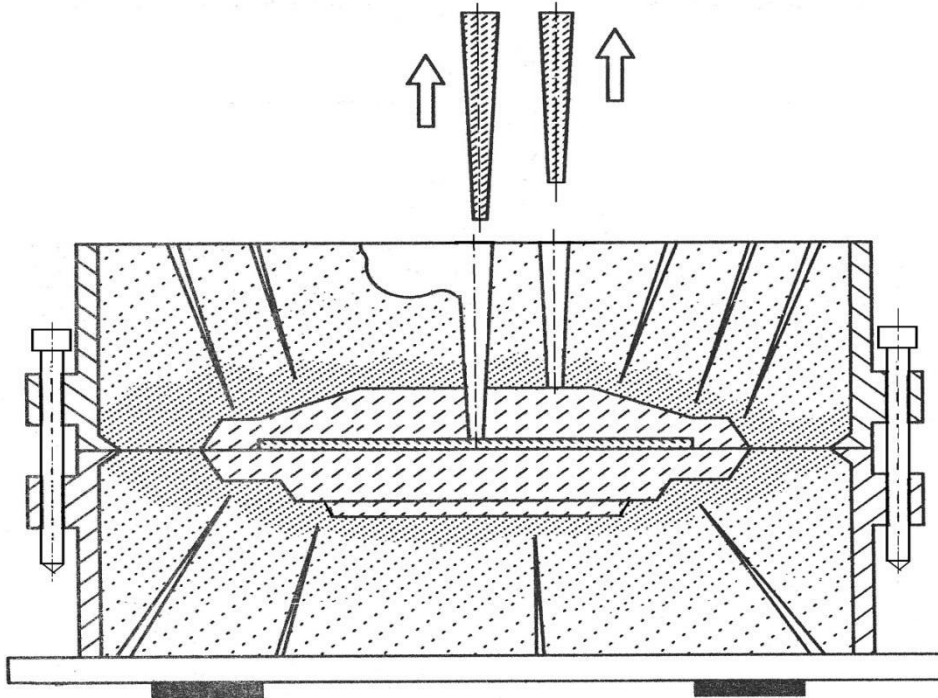
Obr. 2.23 Zaformovaný model s vtokovou soustavou v dělené formě

Po upěchování je potřebné z pískové formy odstranit dřevěné modely. Jako první se odstraní modely výfuku a vtokového kanálu (obr. 2.24). Odstraněny jsou též distanční

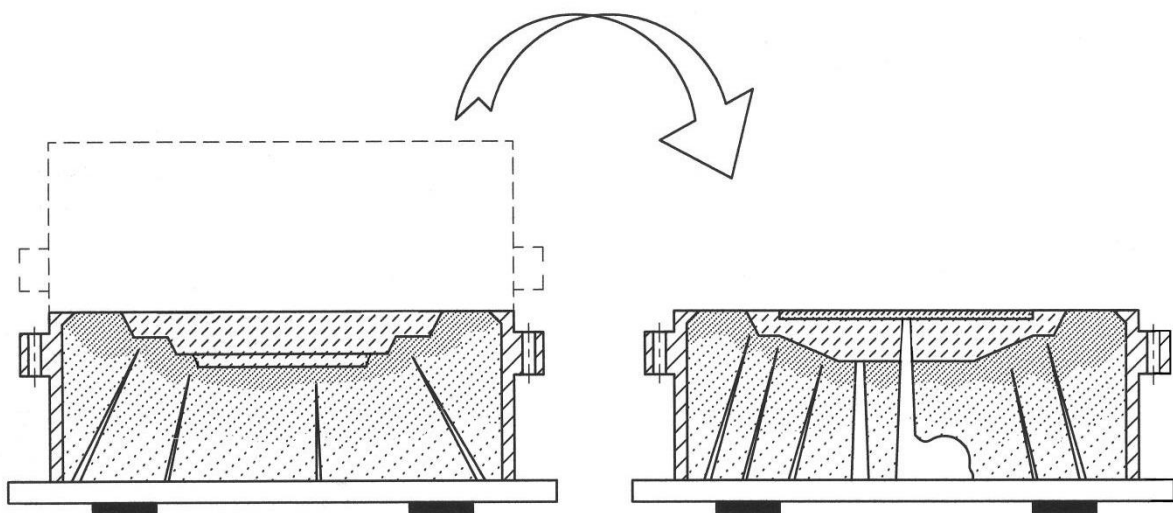
kolíky a formu je možné v dělicí rovině rozebrat (obr. 2.25).

Ze spodní a vrchní části formovacího rámu je odstraněn dřevěný model součástky a lapače strusky (obr. 2.26). V dutině spodní části formy se pomocí formovacího nářadí vyrobí vtokové zářezy podle obr. 2.21.

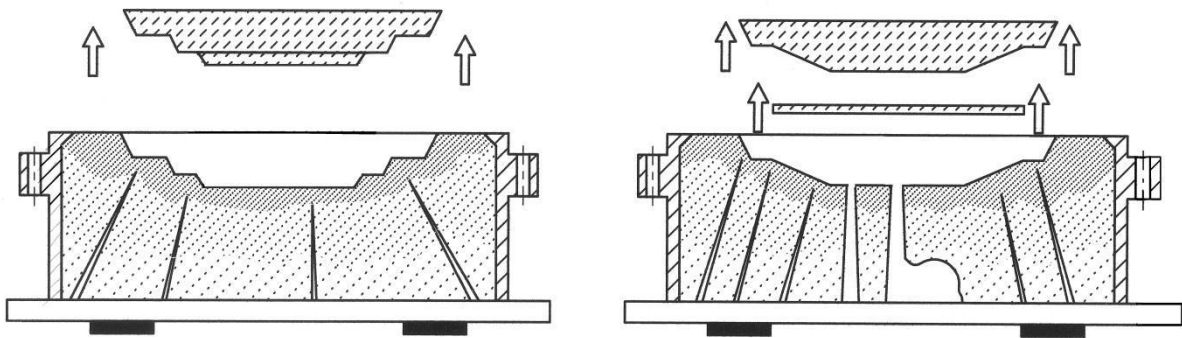
Vrchní a spodní část formy jsou spojené pomocí distančních kolíků a okraje vrchu formy jsou zatíženy závažím, které má zabránit pohybu formy během odlévání. (obr. 2.27).



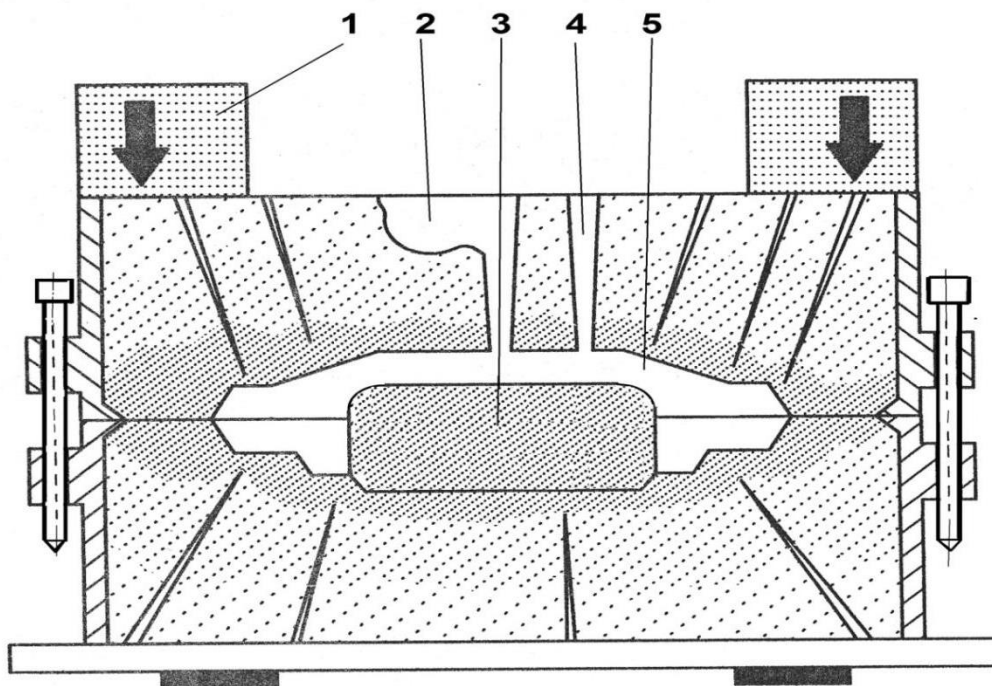
Obr. 2.24 Odstranění vtokového kanálu a výfuku před rozebráním formy



Obr. 2.25 Rozebrání formy za účelem odstranění modelů součástky a vtokové soustavy



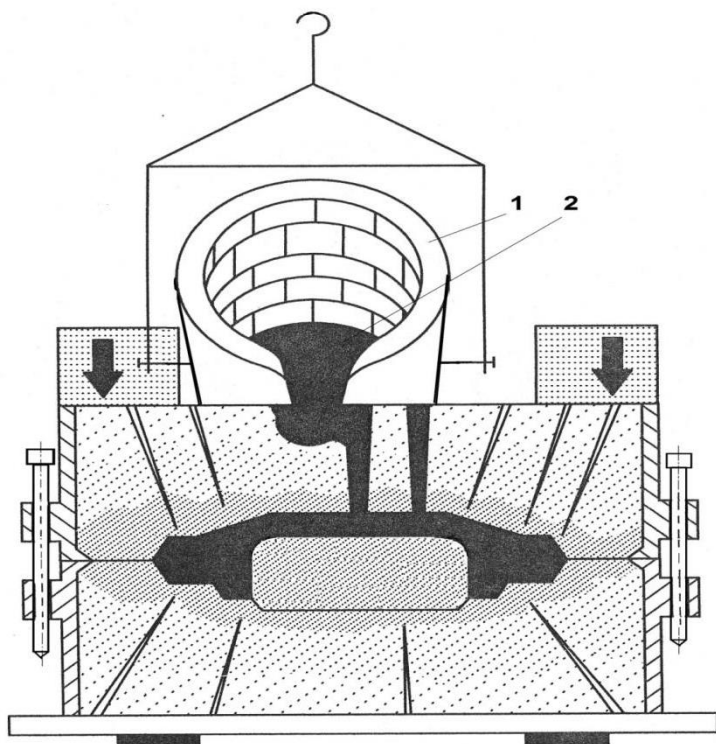
Obr. 2.26 Vyjmutí děleného modelu, zářezů a lapače strusky z formy



Obr. 2.27 Sestavení formy před odléváním

1) zatížení formy pomocí závaží, 2) dutina vtokové jamky a vtokového kanálu, 3) jádro, 4) dutina výfuku, 5) dutina tvaru součástky

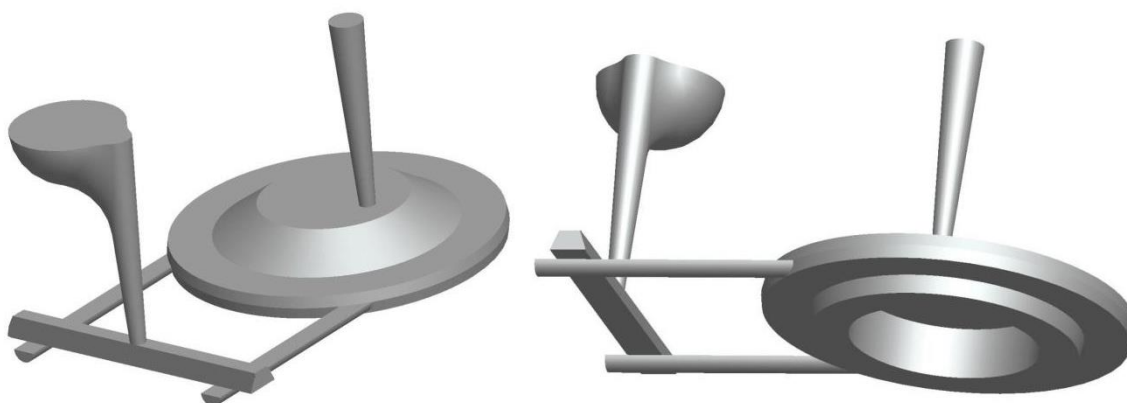
Po ustavení a zatížení formy následuje odlévání součástky ze sklopné pánve. Do vtokové jamky je lita šedá litina, která se vtokovým kanálem dostává do dutiny formy. Během odlévání je pomocí výfuku z dutiny formy odváděn vzduch a výpary. Proces odlévání je ukončen, pokud roztavený kov vyplní celou dutinu výfuku (obr. 2.28).



Obr. 2.28 Odlévání do pískové formy

1) sklopná pánev, 2) roztavený kov

Po ochlazení odlitku je forma rozebrána a surový odlitek (obr. 2.29) je opracovaný apreturou a následným třískovým obráběním na požadované rozměry podle obr. 2.14.



Obr. 2.29 Surový odlitek

Objem surového odlitku je 281 cm³. Hmotnost surového odlitku je 1,92 kg.

3. Tuhnutí a chlazení odlitků

3.1. Slévárenské vlastnosti kovů a slitin

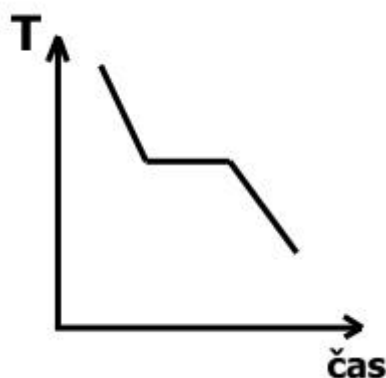
Tavitelnost

Tavitelnost je schopnost přecházet z tuhého do kapalného skupenství při zachování chemického složení a stupně čistoty.

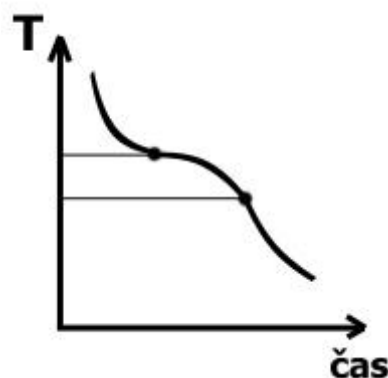
Vyjadřuje se spotřeba tepla na natavení a přehřátí litiny – obr. 3.1 a obr. 3.2.

Množství tepla:

$$Q = c_s(t_L - 20)m + m \cdot l_T + c_s'(t_p - t_L)m \quad (3.1)$$



Obr. 3.1 Ochlazování čistého kovu



Obr. 3.2 Ochlazování slitiny

Tekutost

Tekutost je převrácená hodnota dynamické viskozity.

$\varphi = 1/\eta$, kde η je dynamická viskozita.

Zabíhavost je tekutost měřená při plnění formy, dokud neztuhne tavenina. U litiny se zabíhavost zvyšuje fosforem (šedá litina). Fosfor je negativní prvek, pozitivní jedině pro zvýšení zabíhavosti taveniny.

Odmíchávání je oddělování jednotlivých strukturních složek při tuhnutí. Příčinou je částečná nebo úplná nerozpustnost dvou kovů nebo slitin, např. olověný bronz (Cu-Pb); $T_{TAV-Cu} = 1083^\circ\text{C}$ a $T_{TAV-Pb} = 327^\circ\text{C}$

Schopnost pohlcovat plyny je rozpustnost plynů v kovech, se zvyšující se teplotou se

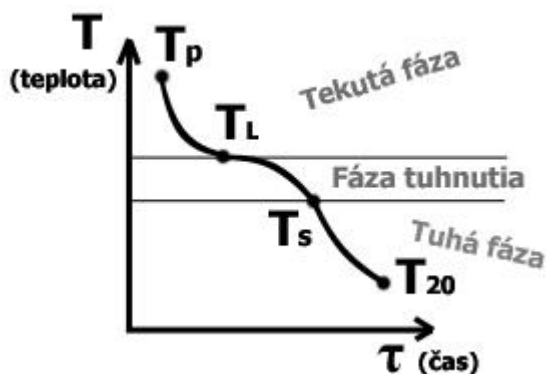
zvyšuje, se snižující se teplotou se snižuje.

Smršťování

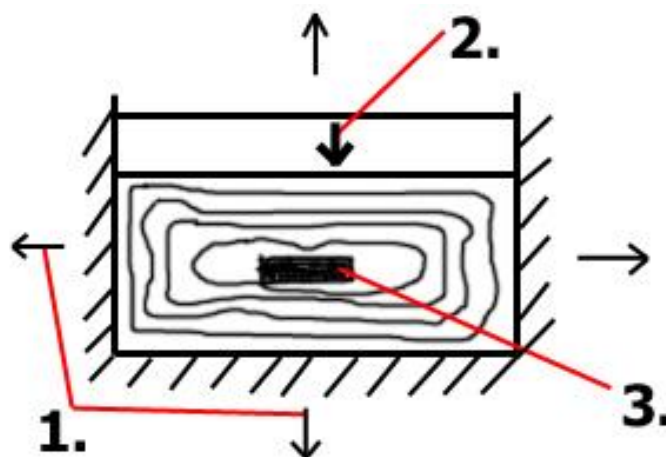
Smršťování je slévárenská vlastnost, která se projevuje změnou objemu, resp. rozměrů; s klesající teplotou se rozměry zmenšují. Viz obr. 3.3 a obr. 3.4.

Měrná hmotnost

ocel v pevném skupenství $\rho=7,8 \text{ kg.dm}^{-3}$, roztavená ocel $\rho=6,8 \text{ kg.dm}^{-3}$
šedá litina v pevném stavu $\rho=7,25 \text{ kg.dm}^{-3}$, v tekutém stavu $\rho=6,9 \text{ kg.dm}^{-3}$



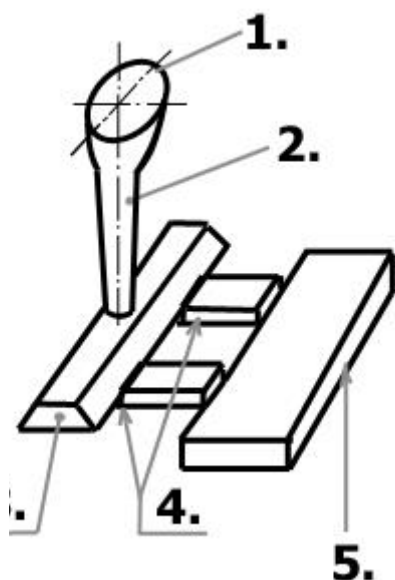
Obr. 3.3 Smršťování v tekutém stavu, v intervalu tuhnutí a v pevném stavu
 $T_p - T_L$ - smršťování v tekutém stavu - řeší se dotékáním, zásobárnou tekutého kovu
 $T_L - T_s$ - smršťování v intervalu tuhnutí - řeší se nálitkem nebo chladítkem
 $T_s - T_{20}$ - smršťování v pevném stavu - model se vyrábí o míru smrštění větší



Obr. 3.4 Smršťování
Odvod tepla, 2. Klesání hladiny, 3. Sražení - vznik SRAŽENINY

3.2. Slévárenské formovací materiály a vtoková soustava odlitku

Vtoková soustava – obr. 3.5



- 1) vtoková soustava
- 2) vtokový kanál
- 3) lapač strusky
- 4) zářezy
- 5) odlitek

Obr. 3.5 Vtoková soustava

Vtokový kanál se zužuje o 2-4°.

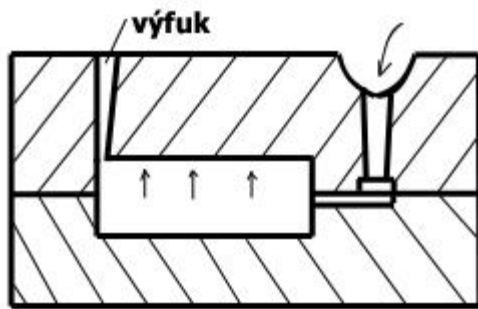
Na nalévání taveniny se používají dva základní typy pánví:

- Sklopná pánev
- Pánev se spodní výpustí – je dražší, náročnější na údržbu; používá se pro oceli; nečistoty se zachytávají na povrchu taveniny, lapač tudíž není třeba

Lapač strusky u ocele se nepoužívá.

Vtokové zářezy mohou mít různé průřezy - čtvercové, trojúhelníkové a půlkruhové. Umístění vtokových zářezů do dutiny formy musí být zvolené tak, aby natavený kov nenarážel na líce formy, případně nepadal z větší výšky na dno formy. A aby se nejprve zaplnily nejtenčí stěny formy.

Výfuk odvádí plyny a páry, signalizuje zaplnění formy, tlumí náraz tekutého kovu v okamžiku zaplnění dutiny. Na jeho výrobu slouží model – kolík – obr. 3.6.



Obr. 3.6 zaplnění dutiny formy

Odlitky:

- SUROVÝ ODLITEK - vypadne z formy
- HRUBÝ ODLITEK - opracovaný, bez výfuku a vtokové soustavy
- HOTOVÝ ODLITEK - obroušený, úplně opracovaný

3.2.1. Formovací směsi

Používají se pro výrobu jednorázových forem, jsou složeny z ostřiva a pojiva. Pojivo slouží k vytvoření kompaktní směsi tím, že obaluje a vzájemně propojuje ostřivo - jeho zrnka.

Formovací směsi jsou:

- **Přírodní:**
 - OSTŘIVO - křemenné a křemičité písky na bázi SiO_2
 - POJIVO - jíly- jejich spojením vznikají mastné, polomastné a velmi mastné písky
- **Syntetické:**
 - OSTŘIVO - přírodní (křemičitý písek) a umělé (šamot, magnezit)
 - POJIVO - anorganické (cement, sádra, vodní sklo, jíly) a organické (oleje, živice, sacharidy) - spojování pojiva buď přírodním, nebo umělým ostřivem.

Vlastnosti formovacích směsí:

- fyzikální (vodivost, roztažnost)
- chemické (nízká reaktivnost s roztaveným kovem)
- technologické:
 - při formování - lepivost, tekutost, životnost, rozměrová přesnost
 - při lití - mechanické

- průdušnost

3.2.2. Vlastnosti při odstraňování formy

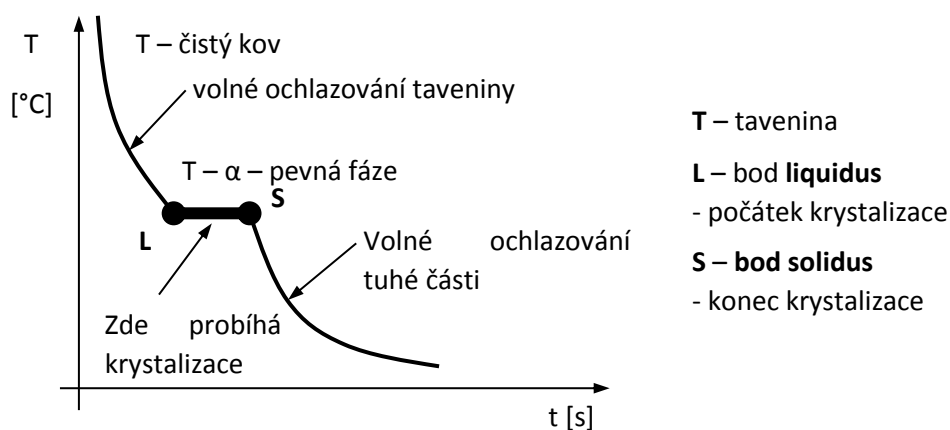
Výroba forem a jader je podmíněná vlastnostmi formovacích směsí:

- **Formovatelnost** - schopnost přesně přijímat tvar modelu a tím umožnit zhotovení formy, která odpovídá tvaru odlitku
- **Vaznost** - schopnost zachovat tvar daným formováním a přenášet silové odpory aby měla forma stálé rozměry
- **Průdušnost** - schopnost upěchované FZ propouštět plyny a páry, které vznikají při lití
- **Pevnost po vysušení** - vaznost v syrovém stavu nestačí a u složitějších forem a jader se hodnoty vaznosti zvyšují vysušením
- **Žáruvzdornost** - závisí na chemickém složení FZ a na přítomnosti škodlivých tavidel
- **Zrnitost** - podmíněná velikostí zrn ostřiva, stejně jako druhem odlévaného kovu - velikostí odlitku a požadavky na jakost povrchu
- **Chemická odolnost** - má vliv na jakost povrchu odlitku a chemický účinek se projevuje reakcí kyselých oxidů se zásadami
- **Rozpadavost** - schopnost směsi ztrácet pevnost po odlití, odlitek se může nerušeně smršťovat po odlití, je to způsobené tím že některá pojiva se působením kovu spálí a přestanou vázat ostřivo

Nežádoucí vlastnosti:

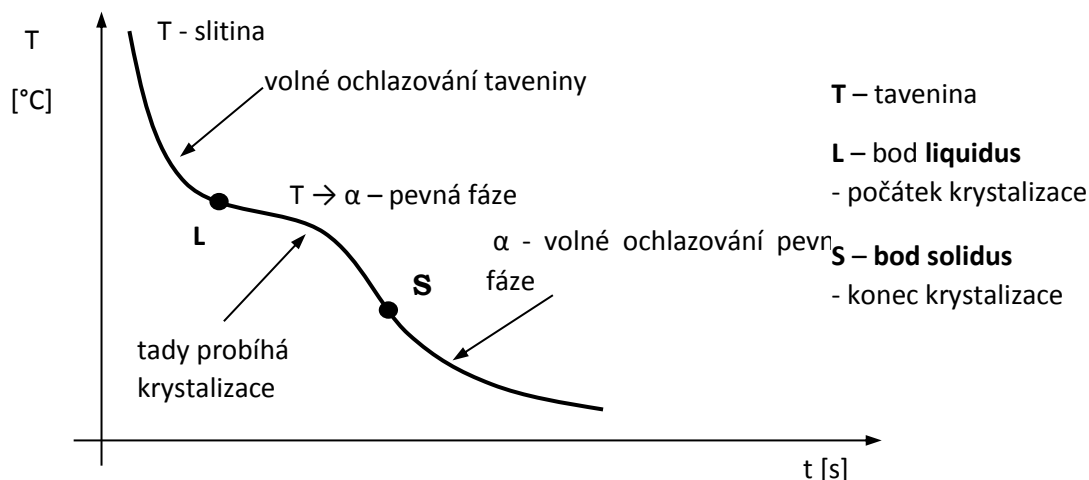
- **Lepivost** - ztěžuje odstranění modelu, poškozují líce formy, model se potírá speciálními látkami
- **Navlhavost** - schopnost FZ přijímat vlhkost z ovzduší
- **Drobivost** - při sušení formy snižuje vaznost

Krystalizace kovů - křivka ochlazování - ČISTÝ KOV (Obr. 3.7)



Obr. 3.7 Křivka ochlazování čistého kovu

Krystalizace kovů- křivka ochlazování – SLITINA (Obr.3.8)



Obr. 3.8 Křivka ochlazování slitiny

3.3. Překrystalizace kovů - křivka ochlazování

- **Překrystalizace kovů:** je to změna krystalického uspořádání – přeměna struktury v pevném skupenství během ochlazování kovu (slitiny), např. Fe, Be, Sn, Ce, Ti a I.
- **Překrystalizace:** změna krystalické mřížky v pevném skupenství
- **Křivka ochlazování:** je funkce teploty v závislosti na čase
- **Polymorfismus:** schopnost kovu krystalizovat v různých soustavách v závislosti na T
- **Altropismus:** schopnost slitin krystalizovat v různých soustavách.

Proces přeměny struktury kovu v pevném skupenství – změna krystalické mřížky.

Krystalizace kovů - přechod z tekutého do pevného stavu a to souvisí s uspořádáním atomů do krystalické mřížky.

Skládá se ze dvou etap

- vznik krystalizačních zárodků
- růst zárodků

3.3.1. Zárodky:

- stálé (když dosáhnou určitého rozměru)
- nestálé

Krystalizující zárodky:

- ze základního stavu
- cizorodé (Al_2O_3 , TiO_2)

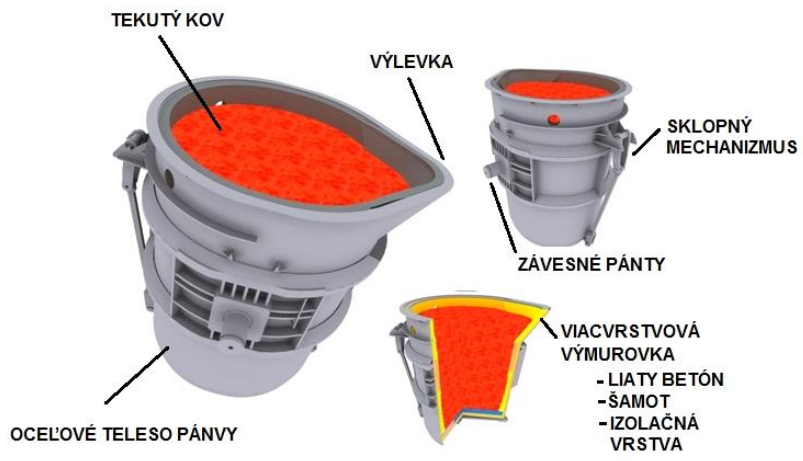
Průběh krystalizace ovlivňují 2 činitele:

- **krystalizační schopnost** – rychlost tvorby zárodků vzniklých v 1 cm^{-2} za sek.
- **krystalizační rychlost** – rychlost růstu krystalů se mění

Při odlévání je vršek formy zdvihán značnou silou, která vzniká působením vztlaku jádra ve známkách a tlakem tekutého kovu na vršek formy. Při odlévání menších odlitků postačí upevnění rámců navzájem k sobě, čímž se vytvoří jeden celek. U větších odlitků se musí použít zatížení, zvláště pro tento účel zhotovené s oky pro jeřáb.

Odlévací proces tekutého kovu do formy se vykonává z pánve dopravované k formě pomocí jeřábu nebo na vozíku. Pro šedou litinu se používá normální sklopná pánev (obr. 3.9), pro ocel na odlitky pánev se spodní výpustí.

Pro získání kvalitního odlitku je velmi důležitá rychlost lití. Teplota odlévaného kovu má být tak vysoká, aby kov dokonale zaplnil formu i v nejslabších stěnách. Výška teploty odlévání má vliv na jakost odlitku. Rychlost odlévání musí být tak vysoká, aby byl vtok během odlévání naplněný tekutým kovem a po odlití formy naplněný až k okraji. Tím bude dosaženo toho, že nečistoty, struska i vyplavený písek budou na hladině tekutého kovu a nebudou proudem staženy do formy. Současně je důležité nepřerušit proces odlévání, v opačném případě vzniká stejné riziko. Tekutý kov se krom toho ihned pokrývá vrstvou oxidů, které zabraňují dokonalému spojení kovu.



4. Tavení

4.1. Tavení

Tavení je tepelně-metalurgický proces, během kterého působením či vytvářením tepla mění materiál (vsázka) svůj fyzický stav ze skupenství pevného (solidus) na skupenství kapalné (likvidus).

Pro tuto změnu je nutné určité množství tepla, skládajícího se z Q_1 potřebného na ohřev celého objemu vsázky z normální teploty okolí T_0 na teplotu tavení kovu (případně na teplotu likvidu T_L), tepla Q_2 potřebného na roztavení celé hmotnosti vsázky a tepla Q_3 , které je potřebné na ohřátí taveniny na určitou teplotu T_{pr} .

Čisté kovy se taví a tuhnou při stejné teplotě (teplota likvidu = teplota solidu), slitiny se taví a tuhnou v určitém intervalu teplot (teplota likvidu je vyšší než teplota solidu).

Tavení kovů probíhá v tavicích agregátech (pecích).

4.2. Základní pojmy

Slitina je útvar skládající se z nejméně dvou prvků, ze kterých alespoň jeden musí být kov, tvořící v pevném skupenství soudržný celek. Slitina vzniká rozpuštěním přísad (prvků) v roztaveném základním kovu.

K výrobě odlitků se používají dvou, tří a vícesložkové slitiny, ve kterých můžeme rozlišit:

- základní prvek (hlavní legující prvek), jehož obsah je vyšší než 50 % a určuje název slitiny (např. slitiny hliníku, zinku, mědi apod.)
- legující prvek (legující přísada), jejíž obsah ve slitině je v porovnání s obsahem základního prvku menší.

Obsah všech prvků slitiny je vymezený příslušnou normou.

Legování je proces při výrobě slitiny, při kterém se do tekutého kovu přidávají legující prvky. Při legování se podíl jednoho resp. více prvků zvyšuje, což vede ke zlepšení některých vlastností odlitku.

Opakem legování je ředění – určitý legující prvek je ředěný, pokud je v tavenině v příliš vysoké koncentraci tzn., pokud přesahuje maximální přípustnou hranici koncentrace.

Zpravidla se při ředění přidává čistý základní kov, čímž dochází ke zvýšení podílu základního kovu a současně k poklesu podílu legujících prvků.

Příměsi (nečistoty) – jsou to prvky, jejichž přítomnost ve slitině není žádoucí. Zpravidla jsou to ostatní prvky, kromě legur.

4.3. Tavení kovů

K tavení kovů se používají různé typy tavicích agregátů. Rozhodujícími faktory při volbě typu zařízení jsou ekonomičnost a technologičnost přípravy kovu nebo slitiny. Mezi nejdůležitější technologické parametry patří:

- výkon tavicího agregátu
- obsah, konstrukce a typ agregátu
- způsob ohřevu agregátu (ohřev plynovým, kapalným nebo tuhým palivem, případně ohřev elektrickou energií)
- způsob výměny tepla
- pohyb taveniny v pracovním prostoru
- rozsah pracovních teplot, změna teploty
- kontrola a regulace
- atmosféra a tlak
- délka procesu tavení

Velmi důležitým parametrem je výměna tepla v pracovním prostoru pece, která se uskutečňuje sáláním, prouděním nebo vedením. V závislosti na pracovní teplotě a konstrukci pece převládá jeden ze způsobů výměny tepla. Např. v pecích s minimální teplotou 1000°C je hlavním způsobem výměny tepla sálání, v pecích s teplotním rozsahem nad 650°C je to vedení. V procesu výměny tepla má důležitou roli i výstelka, která se v důsledku nižší tepelné vodivosti ohřívá na teplotu vyšší než vsázka. Rozměry a tvar pracovního prostoru mají pro proces tavení a pro výkon pece zásadní význam. Jsou hlavním kritériem určujícím množství nataveného kovu.

Pohyb taveniny v pracovním prostoru je užitečný jev, protože způsobuje vyrovnaní tepelných a hmotnostních gradientů v objemu tekutého kovu. Při správném pohybu taveniny nenastává lokální přehřátí, které má při tavení především slitin hliníku negativní vliv na kvalitu taveniny. Pro rovnoměrnost ohřevu a homogenitu taveniny je dostatečné samovolné proudění – konvekce.

Tavicí agregáty můžeme rozdělit podle použití na tavicí a udržovací a podle vzniku tepla na palivové (plynové nebo na pevné palivo) a elektrické (obloukové, indukční a odporové).

Tavení litin

Nejběžnějším a nejvhodnějším zařízením na tavení LLG (litiny s lupínkovým grafitem) je kupolová pec. Problémem při výrobě litiny v kupolové peci je možnost vyrábět kvalitnější druhy litin a dalším poměrně vážným problémem sléváren především na Slovensku jsou ekologické předpisy, kterým některé kupolové pece přestaly vyhovovat a dosáhnout požadovaných emisních limitů, stanovených pro kupolové pece by vyžadovalo značné investice, proto některé slévárny přešly na výrobu litiny především v elektrických indukčních pecích.

Krom těchto dvou pecních agregátů je možné litinu vyrábět, výjimečně ale přece, i v elektrické obloukové peci a v plamenné peci.

- TAVENÍ LITINY V KUPOLOVÉ PECE
- TAVENÍ LITINY V PALIVOVÉ – PLAMENNÉ PECE
- TAVENÍ LITINY V ELEKTRICKÝCH PEČÍCH (obloukových, indukčních)

Tavení slitin neželezných kovů

Na tavení slitin neželezných kovů, především slitin hliníku, se používají:

- PALIVOVÉ PECE
- ELEKTRICKÉ ODPOROVÉ PECE
- ELEKTRICKÉ INDUKČNÍ PECE

Racionální výroba ve slévárnách odlitků předpokládá pouze přetavování hotových slitin (případně jejich dodatečné legování) a vlastního vratného materiálu. V tavírnách se na rozdíl od sléváren přetavují různé druhy např. hliníkového odpadu. Jako vsázkový materiál se ve slévárnách používají hotové slitiny, čisté kovy na dodatečné legování, předslitiny, kovy s rafinačním, ochranným, očkujícím a modifikačním účinkem, vlastní vratný materiál a zpracovatelský odpad. V tavírnách se jako vsázkový materiál používají kromě hliníkového šrotu i čisté kovy nebo předslitiny na dodatečné legování.

Součástí vsázky jsou v obou případech i nekovové materiály, obyčejné soli, které se používají na:

- dodatečné legování slitiny určitými prvky
- ochranu taveniny proti oxidaci a přepalem
- rafinaci
- zjemnění struktury

5. Vlastnosti roztavených kovů a slitin

5.1. Vlastnosti roztavených kovů a slitin

Nauka o slévání pojednává o výrobě odlitků z kovů i jejich slitin, o vlastnostech základních a pomocných surovin pro jejich výrobu a příslušných pomůckách a zařízeních.

Slévárství má klíčový význam pro strojírenství a z hlediska ekonomie výroby je nejlacinějším způsobem výroby zejména pokud se jedná o složitý tvar součástí. Je to způsob výroby kovových součástí, při kterém roztavený kov vlije do formy, v jejíž dutinách tavenina ztuhne a vytvoří surový odlitek.

Po odstranění vtokové a nálitkové soustavy získáme hrubý odlitek a po jeho opracování podle konstrukčního výkresu součástky čistý odlitek. Sléváním je možné zhotovit součástky a díly o hmotnosti od několika gramů po několik stovek tun.

Podle následného zpracování odlitku se rozlišují dva zásadní způsoby odlévání:

- Tvarování jednoduchého odlitku kruhového, čtvercového nebo osmihranného průřezu se silně zaoblenými hranami, určeného k dalšímu zpracování tvářením, nazývané ingoty nebo kontiodlitky. Zhotovují se odléváním do kovových forem – kokil, anebo při kontinuálním odlévání do **krystalizátorů** čtvercového nebo obdélníkového průřezu. Ztuhlý polotovár se dále zpracovává válcováním nebo kování. Tímto následným tvářením se mění tvar a velikosti výchozího odlitku. Do značné míry jsou ovlivňovány i fyzikální a mechanické vlastnosti odstraněním různých nedokonalostí vzniklých při krystalizaci.
- Odlitky strojních dílů a součástí – jedná se o získání konečného, často velmi složitého tvaru, blížícího se co nejvíc velikosti a tvaru budoucí součástky. Fyzikální a mechanické vlastnosti odlitku jsou ovlivněné hlavně chemickým složením a pracovním postupem při odlévání.

5.2. Technologické vlastnosti kovů a slitin

Slévárenské vlastnosti jsou vlastnosti technologické, odvozené od komplexního působení fyzikálních vlastností kovů a formy při odlévání, podmínek lití a struktury odlitku. Tyto vlastnosti se komplexně nazývají slévateľnost, tzn. schopnost vytvořit kvalitní odlitek.

Nejdůležitější vlastnosti jsou:

- **Tavitelnost** - schopnost kovu přecházet z pevného stavu do tekutého
- **tekutost** - závisí na vzájemné pohyblivosti částic taveniny při dané teplotě
- **zabíhavost** - schopnost taveniny vyplnit tenké průřezy v aktivní dutině formy
- **smršťování** - objemové a rozměrové změny v aktivní dutině formy
- **oddělování** - je oddělování různých strukturních složek při tuhnutí taveniny.
- **rozpustnost plynů** - s rostoucí teplotou rozpustnost plynů v tavenině stoupá, při ochlazování se snižuje.

6. Kovy a slitiny v slévárenství a jejich označování

6.1. Materiály používané na výrobu odlitků

Mezi nejpoužívanější materiály na výrobu odlitků patří: ocel na odlitky, litiny a slitiny Al. Fyzikální vlastnosti kovů používaných na odlévání jsou v tab. 1

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti kovů používaných na odlévání

Kov	Teplota tavení (°C)	Bod varu (°C)	Hustota ρ při (20 °C) ($10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
Ocel na odlitky	1500 - 1550	-	7,8 - 8,0
Litina	1150 - 1300	-	6,8 - 7,5
Al a jeho slitiny	660 - 700	2519	2,70
Cu a její slitiny	1083	2562	8,96
Mg a jeho slitiny	650	1090	1,74
Zn a jeho slitiny	419	907	7,14
Ag	961	2162	10,49
Au	1064	2856	19,3
Sn	231	2601	7,2

Pro odlévání je směrodatným údajem teplota tavení. Typ tavicí pece závisí na druhu taveného kovu. Pro tavení jednotlivých druhů železných a neželezných kovů je možné použít následující typy pecí:

Ocel

- elektrické indukční pece,
- elektrické obloukové pece,

Litina

- kupolové pece,
- kupolové pece s přehřátým vzduchem,
- plamenové pece,
- duplexní způsob (kupolová pec + elektrická pec),
(kupolová pec + plamenová pec),

Al a jeho slitiny

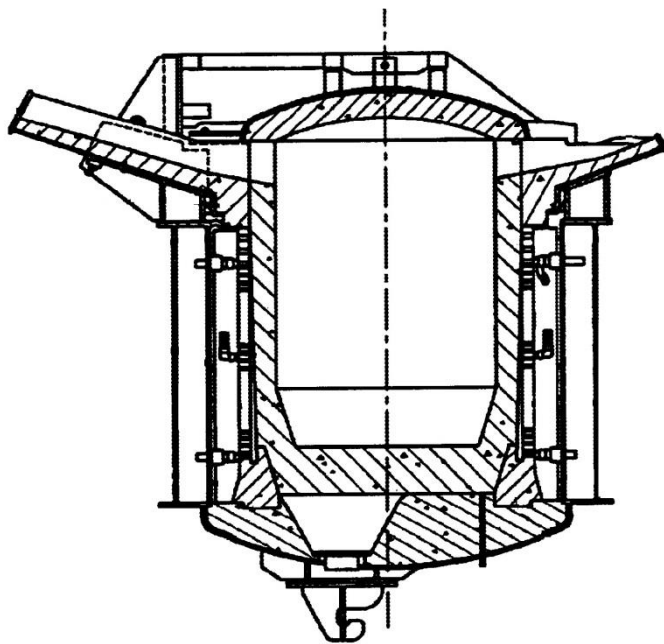
- indukční pece, v kterých se používají grafitošamotové nebo kovové kelímky,

Cu a její slitiny

- vanové pece,
- bubnové pece,
- kelímkové pece na tuhé, plynné a tekuté palivo,
- indukční kelímkové pece (nejpoužívanější) - (obr. 5.1),
- kanálové pece,

Zn a jeho slitiny

- kelímkové pece s plynovým ohřevem nebo elektrickým odporovým ohřevem.



Obr. 6.1 Indukční kelímková pec

7. Výroba odlitků

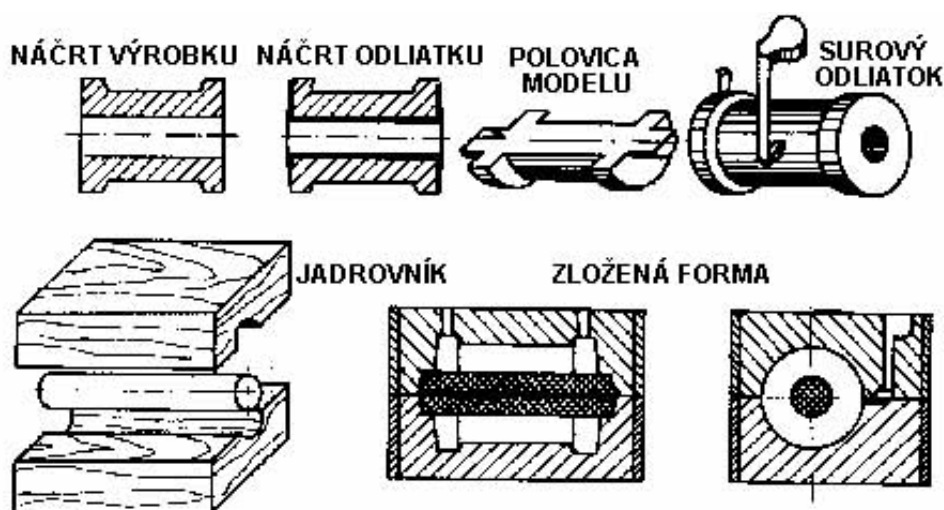
7.1. Technická příprava výroby

Úkolem technické přípravy výroby je zajistit potřebné technologické podklady pro výrobu odlitků.

Technologický postup zajistí postupová kancelář na základě nákresu čistého odlitku. Vývojář určí druh modelu nebo modelového zařízení, jak bude model dělený, přídavky na obrábění a smrštění, druh a dělení jádrovníků, druh modelovací směsi, druh a velikost formovacích rámců, druh a velikost vtokové a nálitkové soustavy, techniku formování, způsob odlévání, ochlazování a čištění.

Při návrhu je třeba zohlednit, o jaké množství odlitků se jedná, podle toho se pak určí pracovní postup.

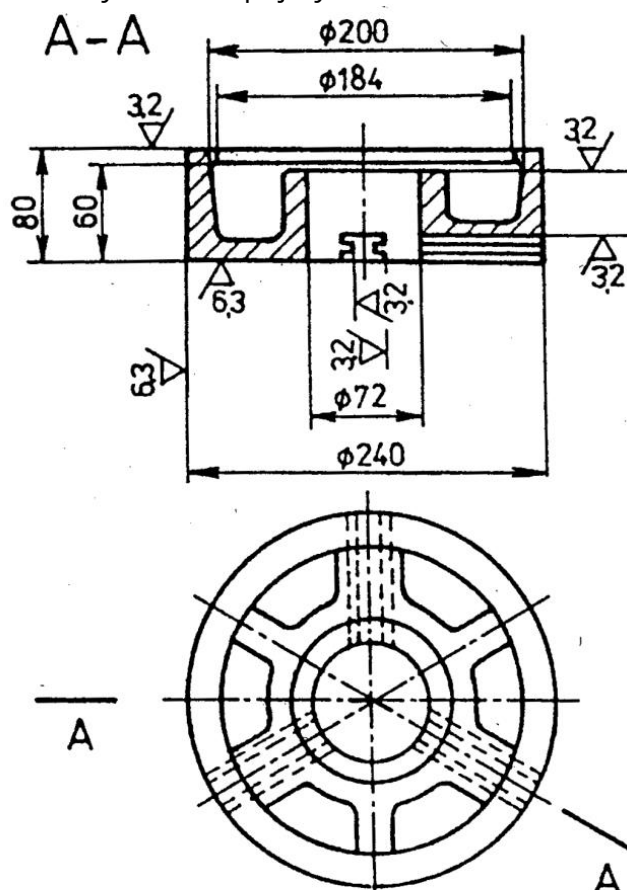
Nákres, který zobrazuje postup výroby modelu, se nazývá postupový výkres. Podle něj modelář zhotoví model, který přes sklad modelů zasílá do vlastní výroby do slévárny. Ve slévárně se podle předepsané dokumentace zhotoví forma. Po odlití a ochlazení se odlitek vybere z formy. Očistí se, zbaví se vtokové soustavy a nálitkové soustavy, zkontroluje se a předá do expedice. Příklad postupu výroby jednoduchého odlitku je na obr. 2.



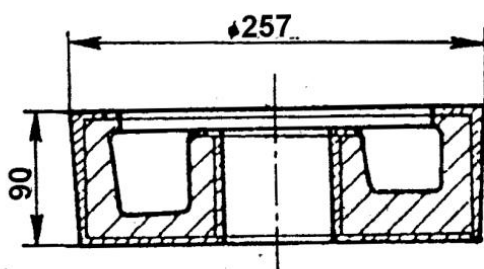
Obr. 2 Rámcový postup výroby jednoduchého odlitku

7.2. Technologický postup výroby odlitku

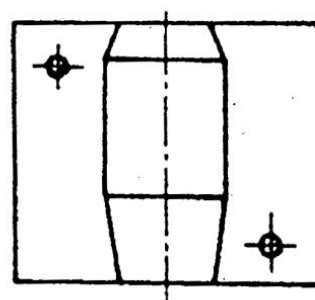
Při návrhu technologického postupu výroby odlitku se vychází z konstrukčního výkresu strojní součásti, která má být zhotovená odléváním z daného materiálu. Na obr. 3 až 6 je znázorněn návrh postupu výroby součástí od výrobního nákresu až po složenou formu pro odlévání a vysvětleny základní pojmy.



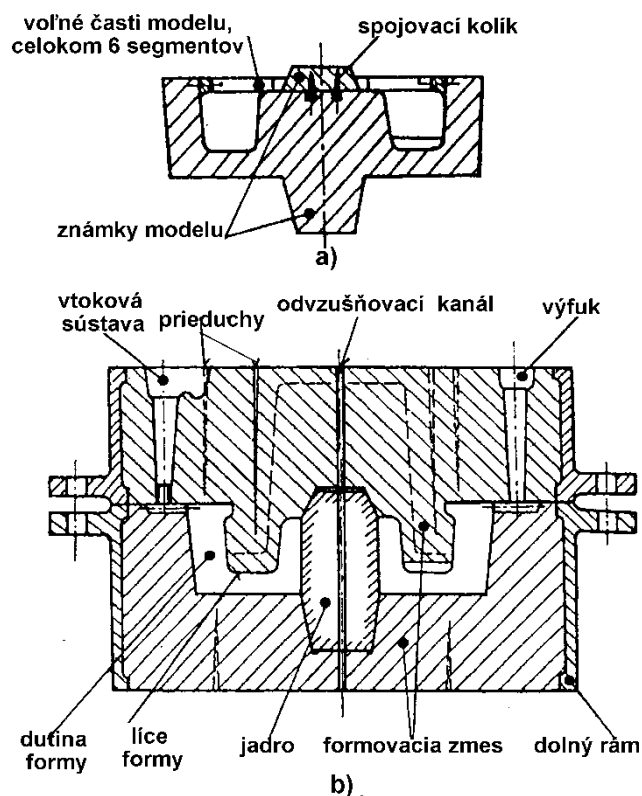
Obr.3 Náčrt hotové součástky ze šedé litiny



Obr. 4 Náčrt hrubého odlitku
jádroníku
(zdvojeným šrafováním je znázorněný přídavek
na obrábění)



Obr. 5 Náčrt poloviny



Obr. 6 a) Náčrt děleného modelu, b) Náčrt formy

Technologický postup výroby odlitku musí obsahovat:

- Volba polohy odlitku ve formě.
- Volba dělicí roviny.
- Volba způsobu výroby forem z hlediska:
 - formovacích materiálů,
 - způsobů používaných ve slévárně (lití v syrové formě, sušené formy apod.),
 - velikosti, tvaru a materiálu odlitku,
 - sériovosti výroby (ruční, strojní formování),
 - specifického tvaru nebo použití odlitků (skořepinové formy, kovové formy apod.)
- Volba způsobu výroby jader (podle stejných hledisek jako u forem).
- Stanovení tvaru a počtu jader.
- Stanovení způsobu odlévání a výpočet vtokové soustavy.
- Určení tepelných uzlů na odlitku, stanovení umístění nálitků a chladítka, výpočet velikosti nálitků.

- Stanovení výrobních pomůcek (druh a počet modelů, modelové desky, formovacího rámy pod.).
- Stanovení doby chladnutí ve formě.
- Stanovení tepelného zpracování odlitku.
- Stanovení kontroly a pravidel pro odevzdání podle STN, nebo podmínek zákazníka.
- Stanovení technologických údajů (teplota lití, doba lití, zatěžování forem apod.).

7.3. Volba polohy odlitku ve formě při odlévání

Poloha odlitku se volí podle zásad:

- usměrněného tuhnutí,
- kladení důležitých ploch větších šířek do dolní části formy, kde je nejčistší kov (u odlitků ze šedé litiny). U ocelových odlitků se důležité plochy větší tloušťky umísťují v horní části formy (doplněné smršťujícího se a tuhnoucího kovu z nálitků),
- bezpečného uložení jader,
- uložení tenkých stěn ve spodní části, pod určitým uhlím nebo svisle.

7.4. Volba dělicí plochy

Dělicí plocha se volí dle zásad:

- dosažení nejmenšího počtu jader,
- dosažení minimální výšky formy,
- umístění základních prvků odlitku do jedné polovice formy
- uložení hlavních jader v dolní polovici formy,
- získání rovné dělicí plochy.

8. Modelové zařízení

Modelové zařízení zahrnuje:

- modely,
- šablonovací zařízení,
- jádrovníky,
- modelové desky.

Modelové zařízení se zhotovuje v modelárně. Modelovým zařízením rozumíme zařízení ke zhotovení aktivní dutiny formy, která je ohraničená stěnami vlastní formy a stěnami vložených jader.

Složitost modelového zařízení je daná složitostí odlitku, na kterém závisí i počet a poloha dělících rovin, umístění jader a známek pro uložení.

Dřevěná modelová zařízení se označují barevně na povrchu v závislosti na materiálu odlitku, pro který jsou určeny (tab. 2).

Tab. 2 Barevné označení povrchu modelových zařízení

Materiál odlitku	Barva
šedá a tvárná litina	červená
temperovaná litina	světlemodrá
ocel na odlitky	tmavomodrá
slitiny mědi	žlutá
slitiny hliníku	šedá
slitiny hořčíku	zelená

Tvar modelového zařízení je daný tvarem a rozměry budoucího odlitku, způsobem výroby forem a jader, druhem materiálu odlitku a formy.

8.1. Modely

Modely jsou prostředky sloužící k vytvoření dutiny ve formě. Tvar a rozměry modelu vycházejí z tvaru a rozměrů součástí, liší se však o přídavky.

Volné části modelu, které by bránily jeho vyzvednutí z formy, jsou zhotovené tak, že při vybírání modelu zůstanou ve formě a vyberou se dodatečně.

8.2. Smrštění odlévaných slitin

Rozměry modelů a jádrovníků jsou vzhledem ke smrštění zvětšené oproti hotovému odlitku. Celkové přídávky se proto skládají z přídávků na smrštění, přídávků na obrábění a technologických přídávků (nepředlévané otvory, zesílení stěn směrem k nálitkům, úkosity apod.).

Vzhledem k tomu, že v průběhu ochlazování se kovy a slitiny smršťují, je třeba modelové zařízení zhotovit větší o míru smrštění daného materiálu. Míra smrštění při tuhnutí je různá a závisí v podstatě na chemickém složení kovu, teplotě lití, struktuře odlitku a druhu formy. Obecné hodnoty délkových smrštění slitin jsou:

- | | | | |
|-------------------|----------|-----------------|----------|
| • Šedá litina | 0,7-1,2% | bronz | 1,3-2,5% |
| • ocel na odlitky | 1,3-2% | slitiny hořčíku | 1,1-1,4% |
| • mosaze | 1,7-2,2% | slitiny hliníku | 0,8-1,5% |

Výpočet je zdlouhavý, a proto používáme modelářské metry, kde je stupnice zvětšená o hodnotu smrštění.

8.3. Přídávky na obrábění a přídávky technologické

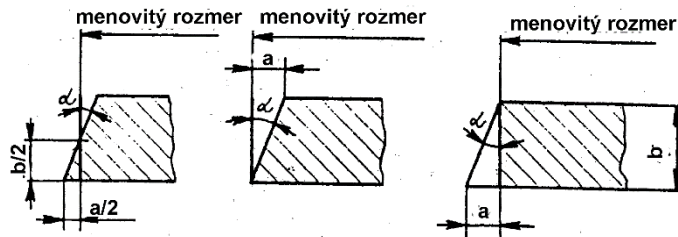
Přídavek na obrábění je vrstva materiálu na vnější straně nebo vnitřní ploše odlitku, která umožňuje dosáhnout obrobením přesnosti rozměrů a jakosti povrchu stanovené na výkresu součástky. Určuje se podle STN 01 4980. Závisí na rozměrech součástky, materiálu a stupně přesnosti odlitku a poloze plochy.

Přídavek technologický- je vrstva materiálu na vnější nebo vnitřní straně, která umožňuje dosáhnout usměrněného tuhnutí nebo ulehčuje výrobu.

8.4. Slévárenské úkosity modelů a odlitků

Úkosity slouží ke snadnému vybírání modelu z formy a jádra z jádrovníku. Stěny, které s dělicí rovinou svírají kolmý úhel, se zhotovují prakticky úkosem 0,5 do 200, a to podle místa a délky, ke které se úkos vztahuje. Podle vztahu úkosu k jmenovitému rozměru odlitku se rozlišují úkosity typu A, B a C (obr. 7).

Jmenovitý rozměr je rozměr stanovený na výkrese odlitku. K němu se vztahují mezní odchylky rozměrů a tvarů odlitku. U ploch, které budou obráběné, se za jmenovitý rozměr odlitku považuje rozměr včetně přídávku na obrábění.

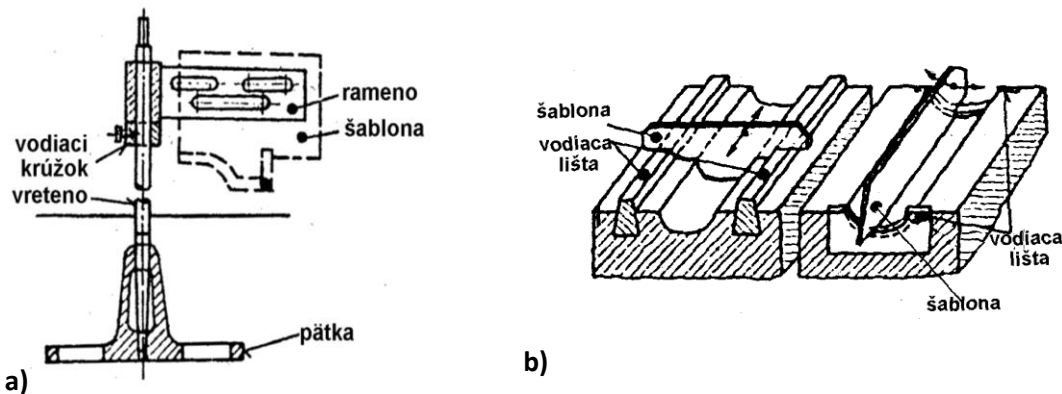


Obr. 7 Slévárenské úkosy typu A, B, C

- Úkos A se obvykle používá pro neopracované plochy a je nejčastěji používaným úkosem. Nemusí být stanovený na výkresu součástky.
- Úkos B se volí tehdy, pokud je možné zmenšit rozměry odlitku (úspora hmotnosti). Musí být na nákresu součástky vždy stanovený.
- Úkos C se používá na obráběných plochách nebo tam, kde rozměr odlitku není možné zmenšit. Pokud plochy odlitku s úkosem C nebudou obráběné, musí být úkos na nákresu součástí vždy stanovený.

8.5. Šablonovací zařízení

Je to zařízení pro výrobu forem a jader skládající se z vodícího zařízení a vlastní šablony (obr. 8). Rozlišuje se šablonování rotační, podélné a příčné.



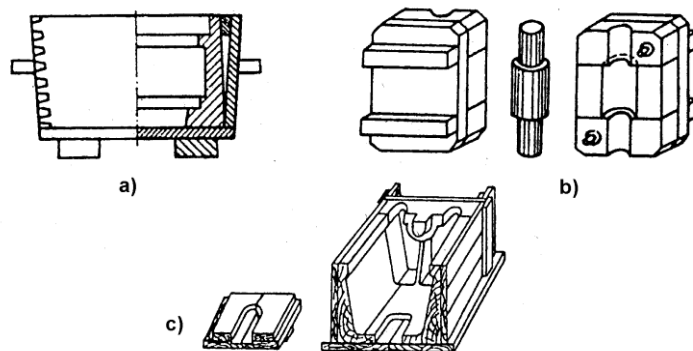
Obr. 8 Šablonovací zařízení

a)- rotační šablona, b)- příčné a podélné šablonování

8.6. Jádrovníky

Dutiny v odlitku se vytvářejí pomocí zvláštních částí formy, které nazýváme **jádra**, které

se zhotovují v modelových zařízeních – **jádrovnicích**, obr. 9.



Obr. 9 Jádrovnice a) sříňový, b) – dělený, c) – rámový s objímkou

Pro zajištění polohy jádra a jeho posunutí v aktivní části dutiny se ukládají úložnými částmi - **známkami** - do značkových lůžek, vytvořených značkami na modelu (obr. 9). Znamky svislých jader mají kuželový tvar.

8.7. Modelové desky

Půdnice je podložka, na kterou se dávají modely nebo části modelů při ručním formování.

Při strojním formování (v sériové a hromadné výrobě) se používají modelové desky s upevněnou polovinou modelu, včetně částí modelu vtokové soustavy a s vodícími kolíky. Při výrobě většího počtu odlitků, hlavně v případě strojního formování zpřesníme a usnadníme výrobu tím, že polovinu modelu položíme na modelovou desku. V hromadné a sériové výrobě dřevo nevyhovuje požadavkům.

ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ

1. Části a mechanismy strojů

1.1. Spoje

Spoje (spojení) – strojní části (stavební orgány), jejichž hlavní funkcí je „**spojit**“ (HW) díly technického produktu (TS), a to vždy v kombinaci s další funkcí, týkající se „**pohyblivosti**“:

- „**neumožnit vzájemný pohyb**“, jestliže původní části nemohly být z důvodů vyrobitelnosti, zaměnitelnosti, nastavitelnosti, dopravitelnosti, opravitelnosti, likvidovatelnosti, apod. navrženy z jednoho kusu,
- „**umožnit vzájemný pohyb**“, jestliže spojované díly vyžadují pro zajištění své funkce současně měnit vzájemnou polohu.

Poznámky:

Pokud však u spoje nabývá prioritu funkce „**umožnit vzájemný pohyb**“, jsou tyto spoje v ČR považovány za samostatné třídy strojních částí a v českém jazyce (např. na rozdíl od angličtiny a němčiny) označovány podle druhu umožněného pohybu:

- pro posuvný pohyb: vedení
- pro otáčivý pohyb: uložení

V dalších kapitolách proto budeme pod pojmem „**spoje**“ uvažovat pouze „**klasické spoje**“, u nichž má prioritu funkce „**umožnit spojení**“, a funkce „**umožnit pohyb**“ buď není požadována vůbec, nebo jen zčásti:

- **Spoje pevné (za provozu nepohyblivé!)** - (tj. s funkcí „**neumožnit vzájemný pohyb**“)
- **Spoje pohyblivé** (tj. s funkcí „**umožnit (částečný) vzájemný pohyb**“)

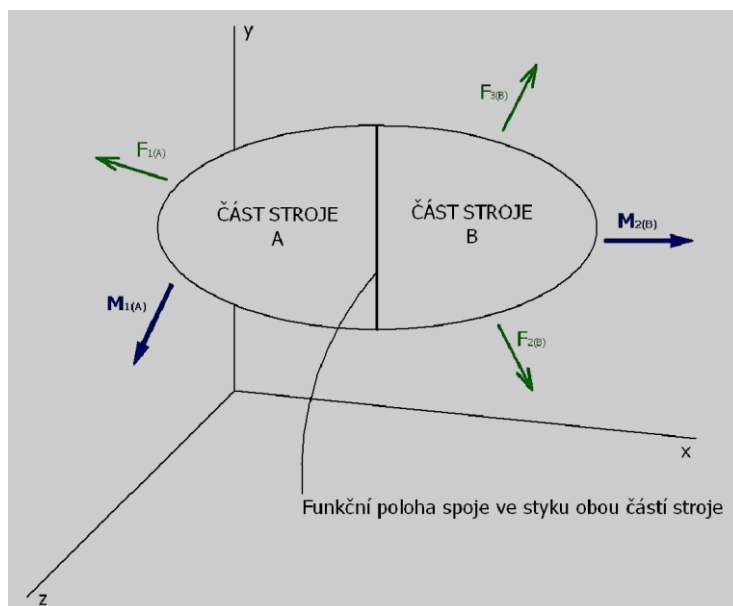
Poznámky:

- Obvyklé členění „**pevných**“ spojů na „**rozebíratelné**“ a „**nerozebíratelné**“ zde není uvažováno, protože toto není funkční vlastnost ani funkční/pracovní charakteristika. Tato vlastnost (např. pro montáž při výrobě, a pro demontáž & montáž při distribuci, instalaci, údržbě, opravách a demontáž při likvidaci, apod.) je však logicky uvažována jako jedna z významných reflektivních vlastností (pevných) spojů. Tím se třídění těchto spojů podstatně zjednodušilo, aniž by byla tato jejich vlastnost opomenuta.

- Pozor, v oboru strojních částí se pod pojmem „pevné spojení“ označují spojení, která (při provozu) „neumožňují vzájemný pohyb spojovaných částí/dílů TS.
- Pro zjednodušení znázornění a označení silových zatížení působících **rovnoměrně po celém obvodu** (např. nákržku, třecí plochy, závitu, apod.) je používáno označení příslušných veličin **indexem „o“ psaným nalevo od značky příslušné síly**, apod. (viz např. Obr. A 1.4-2).

1.2. Vnější zatížení spoje

Řeší se (po vyřešení vnější rovnováhy TS!) jako výsledné účinky sil a momentů působících na část TS po jedné straně stykové (funkční) plochy řešeného spoje (tj. analogicky jako vnitřní rovnováha odpovídajícího "řezu"). Obvykle se využívá ta strana, ze které je řešení jednodušší.



Výsledné silové účinky na spoj („zleva“ i „zprava“):

$$\begin{aligned}
 F_{xSP} &= \sum_{(i)} F_{ixA} & F_{xSP} &= - \sum_{(j)} F_{jxB} \\
 F_{ySP} &= \sum_{(i)} F_{iyA} & F_{ySP} &= - \sum_{(j)} F_{jyB} \\
 F_{zSP} &= \sum_{(i)} F_{izA} & F_{zSP} &= - \sum_{(j)} F_{jzB}
 \end{aligned}$$

Výsledné momentové účinky (od momentů i sil) na spoj („zleva“ i „zprava“):

$$\begin{aligned}
 \mathbf{M}_{xSP} &= \sum_{(i)} \mathbf{M}_{ix_A} & \mathbf{M}_{xSP} &= - \sum_{(j)} \mathbf{M}_{jxB} \\
 \mathbf{M}_{ySP} &= \sum_{(i)} \mathbf{M}_{iy_A} & \mathbf{M}_{ySP} &= - \sum_{(j)} \mathbf{M}_{jyB} \\
 \mathbf{M}_{zSP} &= \sum_{(i)} \mathbf{M}_{iz_A} & \mathbf{M}_{zSP} &= - \sum_{(j)} \mathbf{M}_{jzB}
 \end{aligned}$$

2.Spoje šrouby a závity (šroubové a závitové spoje)

2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Dobře rozebíratelná spojení částí na principu spoluzabírajícího vnějšího a vnitřního závitu.

Podle umístění vnějšího závitu rozeznáváme:

- **šroubová spojení** (vnější závit je vytvořen na pomocné spojovací části - šroubu)
- **závitová spojení** (vnější závit je vytvořen na jedné ze spojovaných částí, vnitřní pak obvykle ve druhé z nich.)

Dále budeme uvažovat pouze podstatně běžnější šroubová (pevná, tj. nepohyblivá) spojení, která jsou při montáži "utažena", tj. uvedena do předepjatého stavu.

Poznámky:

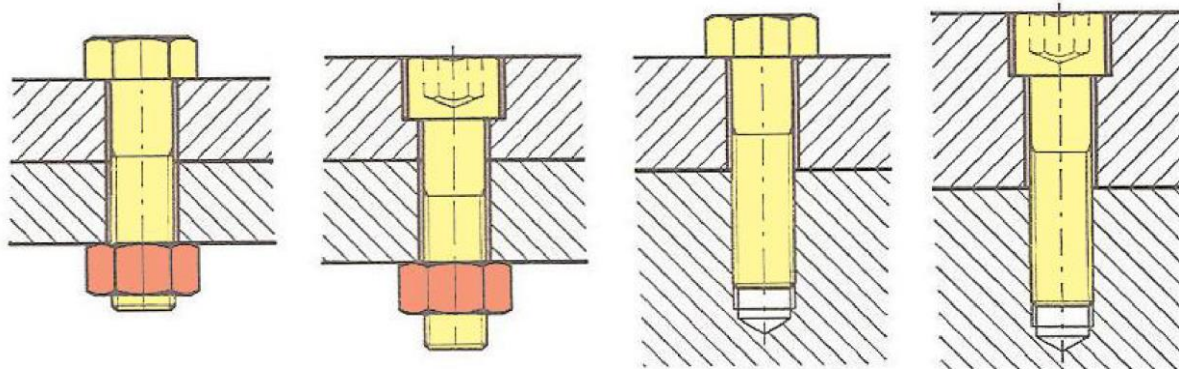
- Pozor, v literatuře jsou jako předepjaté spoje označovány pouze důležité (většinou vysoce namáhané) spoje, u nichž se při navrhování a zjišťování vlastností spoje modeluje hlavní orgánová struktura jako soustava předepjatých pružin. U méně důležitých předepjatých ("utažených") šroubových spojů se vliv předpětí na zvýšení vnějšího zatížení uvažuje zjednodušeně pomocí součinitele závislého na průměru šroubu.
- Základním modulem šroubových spojů je spojení s jedním šroubem. Šroubové spoje s více šrouby jsou často nazývány jako přírubové spoje (podle jejich nejčastějšího konstrukčního provedení). Rozhodující je však pouze tvar (a tuhost) stykové plochy a přilehlých partií spojovaných částí a navržené rozmístění a velikosti spojovacích šroubů.

2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

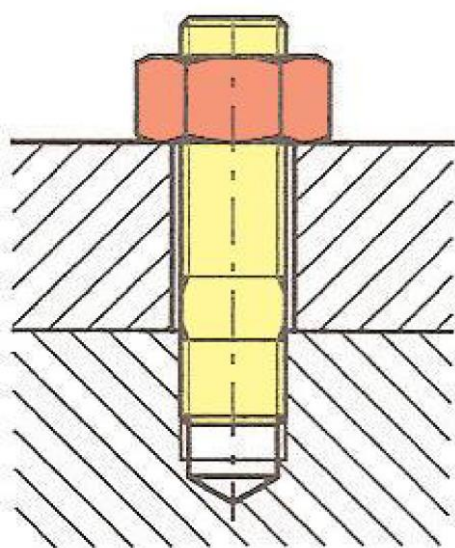
Typická provedení:

STANDARDNÍ ŠROUBOVÉ SPOJE

spojení šroubem s hlavou (s maticí a bez matice):

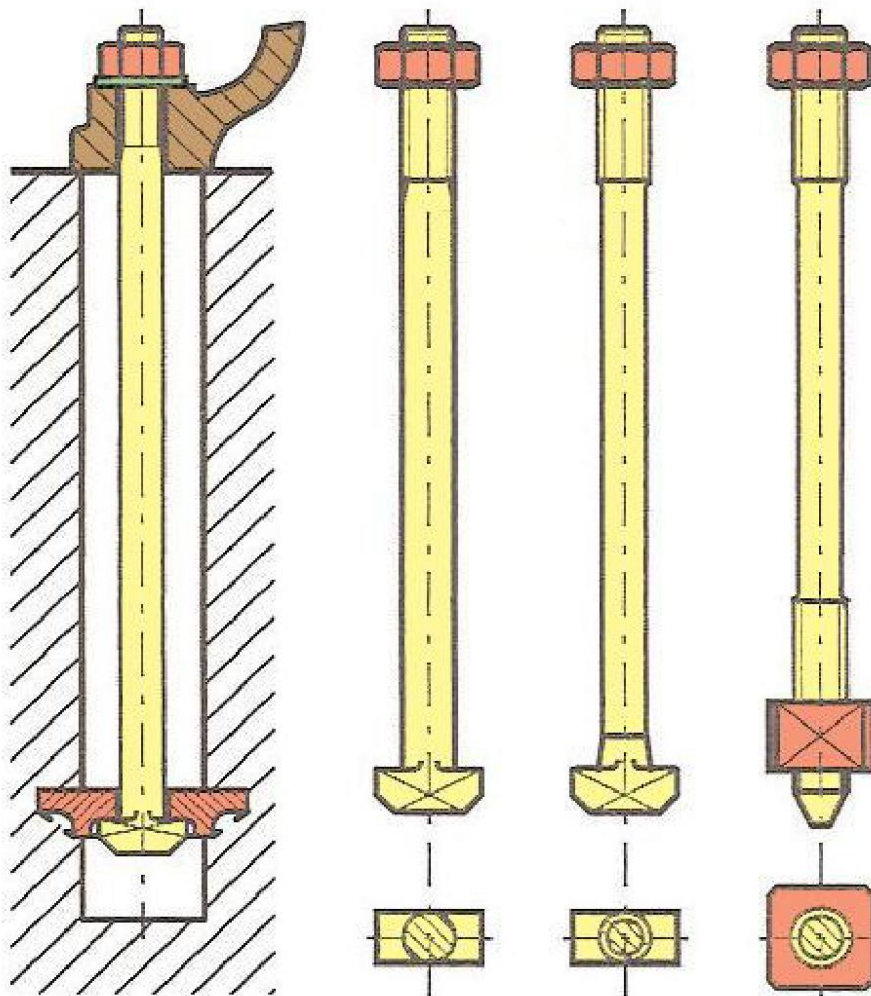


spojení závrtným šroubem (vždy s maticí):

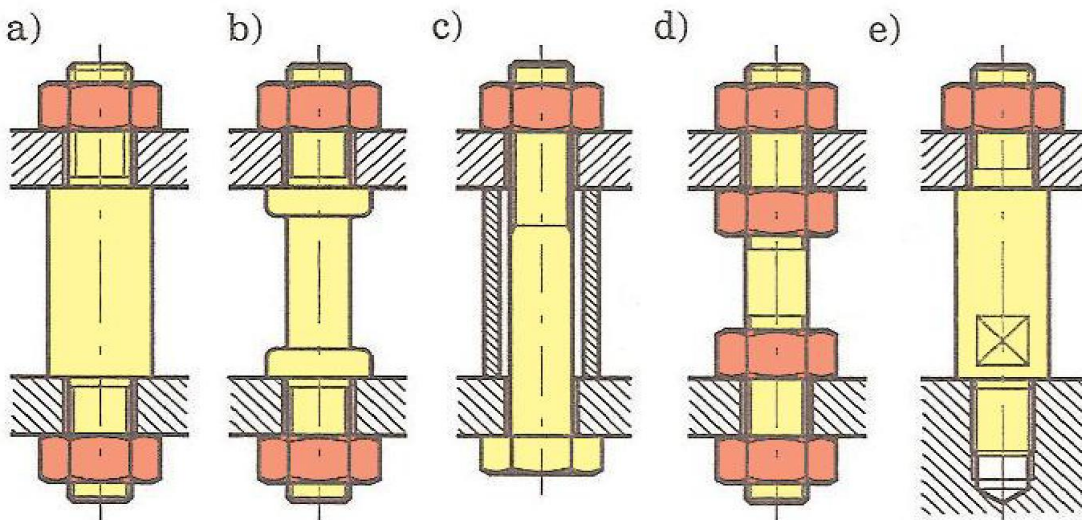


SPECIÁLNÍ ŠROBOVÉ SPOJE

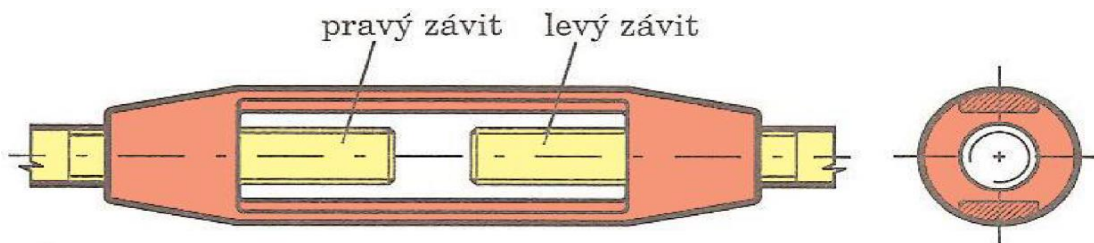
základové šroubové spoje:



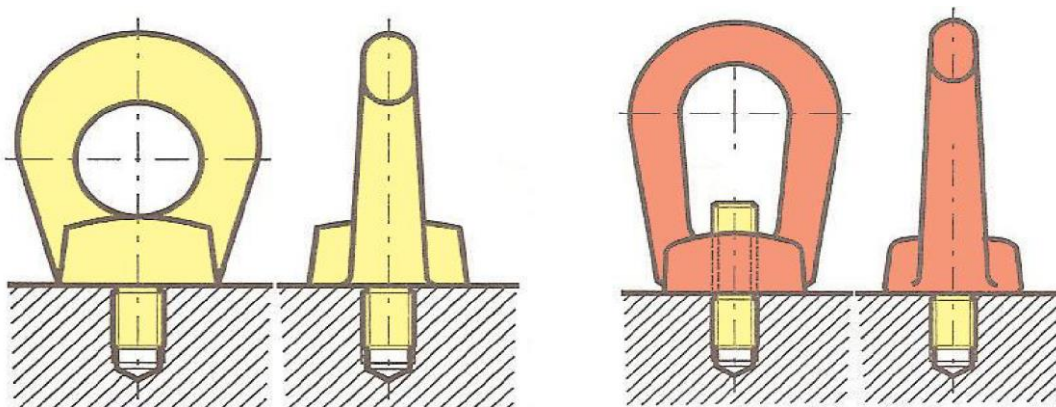
rozpěrací šroubové spoje:



napínací šroubové spoje:



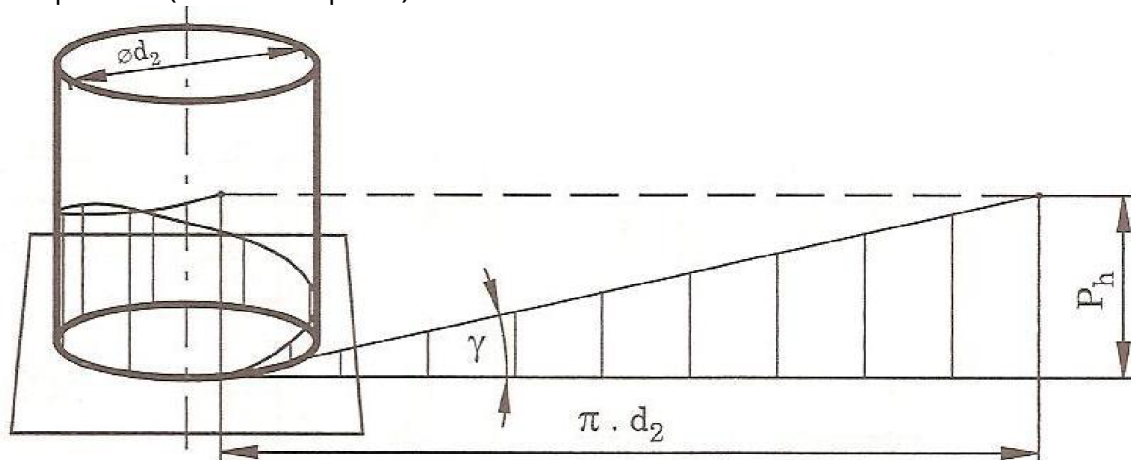
závěsné šroubové spoje (pro „spojení“ strojního dílu se závěsným okem):



Tvary, rozměry a tolerance prvků šroubového spoje

Závity

Princip závitů (na válcové ploše):



$$\operatorname{tg} \gamma = P_h \pi \cdot d_2 \text{ [rad]}$$

kde:

P_h [mm] ... stoupání závitů (pozn. $P_h = n \cdot P$; kde: n [1] ... počet chodů závitů)

P [mm] ... rozteč závitů

d_2 [mm] ... střední průměr závitů 186

2.3. Druhy závitů spojovaných

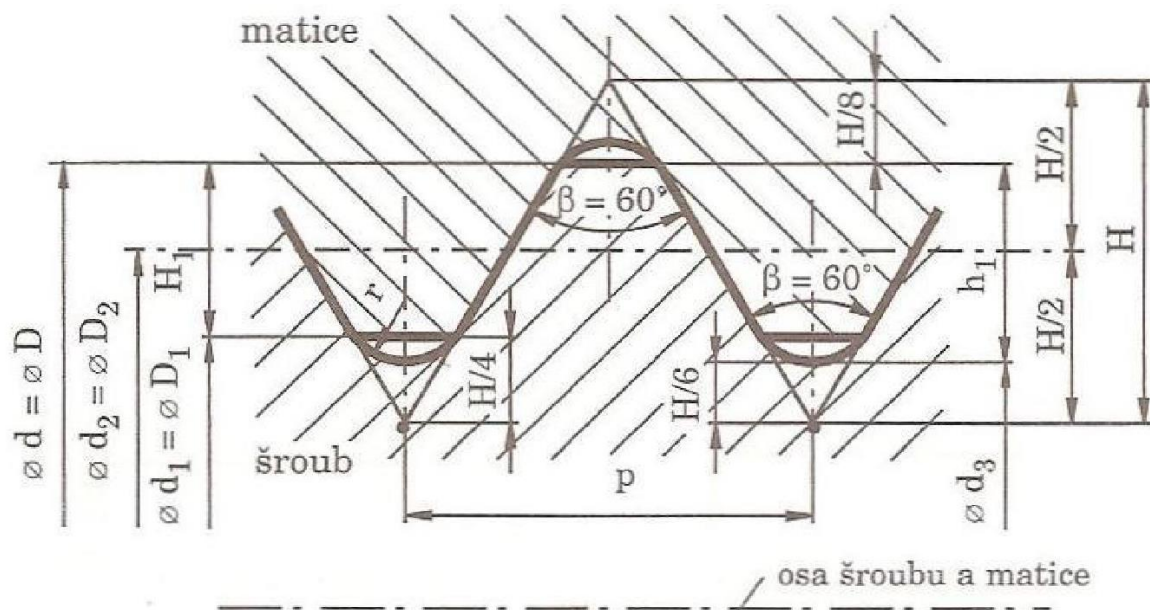
Podle ČSN 01 4000:

- metrický závit s hrubou roztečí (ČSN 01 4008): M_d , např. M16
- metrický závit s jemnou roztečí (ČSN 01 4013): $M_d \times P$, např. M16 x 1,5

Poznámky:

- pro levý závit: $M_d \times P \text{ LH}$, např. M16 x 1,5 LH
- pro vícechodý závit: $M_d \times P_h/n$, např. M16 x 3/2

Osový řez (v rovině procházející osou šroubu a matice):



- d, D – velký \varnothing závitu šroubu, matice
- $d_2 = D_2$ – střední \varnothing závitu šroubu, matice
- d_3, D_1 – malý \varnothing závitu šroubu, matice
- h_1 – výška profilu závitu šroubu, matice
- H – výška základního profilu (teoretického profilu)
- H_1 – pracovní výška profilu (nosná hloubka)
- b – vrcholový úhel
- P – rozteč závitu

Lícování metrických závitů

pro všechna uložení (ČSN 01 4314 - dle ISO)

stupeň přesnosti: 1 - 10

polohy tolerančního pole:

$d p$ (pro d_2 a d), např.: M16 7g6g

CH (pro D_2 a D_1), např.: M16 5H6H

Příklady uložení: 5H6H / 7g6g

pokud shoda, např. 6H6H / 6g6g pak: 6H/6g (běžné) 187

2.4. Materiály spojovacích šroubů a matic

Základní pravidla:

- materiály s vysokou mezí kluzu, zejména u šroubů.
- pro tytéž hodnoty mechanických vlastností závisí volba materiálu na způsobu výroby závitu (tváření za tepla/za studena, obrábění), proto se místo druhu materiálu uvádí označení zaručených mech. vlastností po vyrobení:

Označování mech. vlastností šroubů a matic **: x.y

x ...značka velikosti meze pevnosti: čísla 4 - 12

y ...značka velikosti meze kluzu: čísla 4 - 8

Poznámky:

- Normalizované mechanické vlastnosti šroubů a matic se označují prvou doplňkovou číslicí v označení dle ČSN *
- Pro nejběžnější případy:

tvárové provedení: šrouby a matice šrouby ("imbus") s válcovou se šestihrannou hlavou hlavou a vnitř. šestihran.

** prvá doplňková číslice: .1.5*

*** značka materiálu: 5.6 8.8*

$\sigma_{pt} \cong 100 \times \text{ozn. vel. } \sigma_{pt}$	500 MPa	800 MPa
$\sigma_{kt} \cong (0,6 + 0,8) \cdot \sigma_{pt}$	300 MPa (x 0.6)	600 MPa (x 0.8)
$\sigma_D \cong \sigma_{kt} / ([1,5 +] 2,5)$	120 [+ 200] MPa	240 [+ 400] MPa
$\sigma_{D\check{s}} \cong 0,5 \cdot \sigma_D$	60 [+ 100] MPa	120 [+ 200] MPa – vliv vrubů závitu
$\tau_{D\check{s}} \cong 0,6 \cdot \sigma_{D\check{s}}$	40 [+ 60] MPa	80 [+ 120] MPa
vliv nerovnoměrného zatížení závitů:		
$p_{Dz} \cong 0,2 \cdot p_D \cong 0,2 \cdot \sigma_D$	20 [+ 40] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)
vliv pohybu:		
$p_{Dz \text{ poh zat}} \cong 0,2 \cdot p_{Dz}$	5 [+ 10] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)

Materiály:

- málo namáhané spoje: ocel tř. 11 100 (11 109 a 11 100)
- běžné namáhané spoje: ocel tř. 11 300 (11 340 a 11 370)
 - 11 500 (11 500)
 - 11 600 (11 600)
 - 12 000 (12 040 a 12 050)
- vysoce namáhané spoje ocel tř. 13 200 (13 240)
 - 14 200 (14 240)
 - 15 200 (15 230)
- v agresivním prostředí: tažené mosazi tř. 42 3200 (42 3213 a 42 3223)

2.5. Vlastnosti (reflektivní vlastnosti)

CHARAKTERISTIKA VLASTNOSTÍ KOMPLEXNÍ KVALITY

Provoz, údržba, opravy

- Přenos všech druhů zatížení (přenos tečných sil buď třením nebo lícovanými šrouby).
- Snadná rozebíratelnost.
- Spolehlivost proti uvolnění lze zvýšit konstrukčními úpravami.
- Spolehlivost při dynamickém zatížení je snižována mnoha vruby

Výroba, montáž

- Nenáročnost na provedení, konstrukční úpravy spojovaných částí jsou jednoduché, vlastní spojovací části se v rozhodující většině případů nakupují jako standardizované díly.
- Nejméně vhodným prvkem jsou závitové spoje ve spojovaných částech, zejména pokud nejsou osy otvorů kolmé vůči povrchům a pokud nejsou otvory průchozí (nebezpečí zlomení nástrojů).

CHARAKTERISTIKA ČASOVÝCH/"TERMÍNOVÝCH" VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh, výroba (a nákup), montáž a demontáž.

CHARAKTERISTIKA EKONOMICKÝCH/"NÁKLADOVÝCH" VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Při vhodném návrhu z hlediska výroby relativně nenákladný spoj.
- Provozní náklady nulové.
- Náklady na demontáž minimální (pokud spoj nezkorodoval).

3. Únosnost a pevnost při provozu

Provozní zatížení (max. zatíženého šroub. spoje) (jmenovité)

Typické případy:

I. nŠS šroubových spojů je zatěžováno na osu silou F_{celk1} :

(pokud není smyková síla zachycena vlož. elementy např. kolíky, pery apod. nebo lícovanými šrouby)

$$F_{\check{S}Sjm} \leftarrow F_{celk\perp} = n \cdot \check{S}S \cdot F_{\check{S}Sjm} \cdot f \cdot 1_{sf} \text{ orientačně: } s_f (1,5 \text{ } 2,5) (5.1 - 2)$$

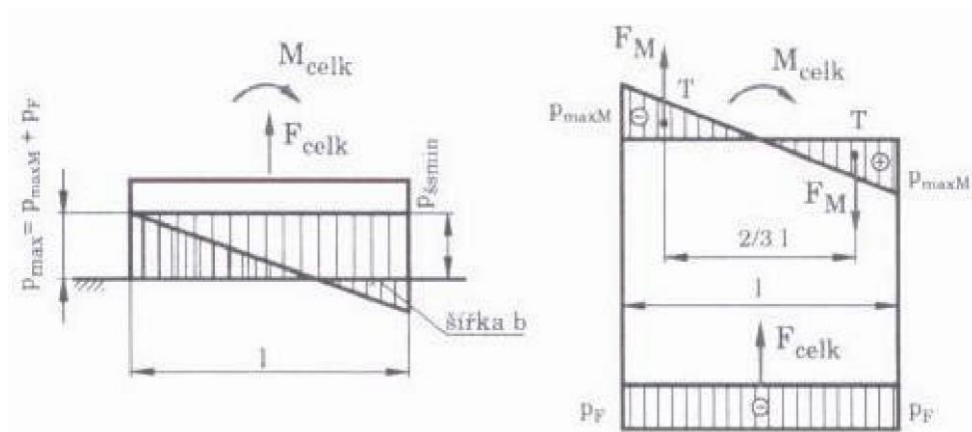
Poznámka:

Protože je předpoklad, že další řešení může být staticky neurčitě, nestanovuje se zatím max. (mezní) zatížení, ale pouze (max.) provozní (jmenovité vnější) zatížení šroubového spoje $F_{\check{S}Sjm}$.

II. nŠS šroubových spojů je zatěžováno || s osou:

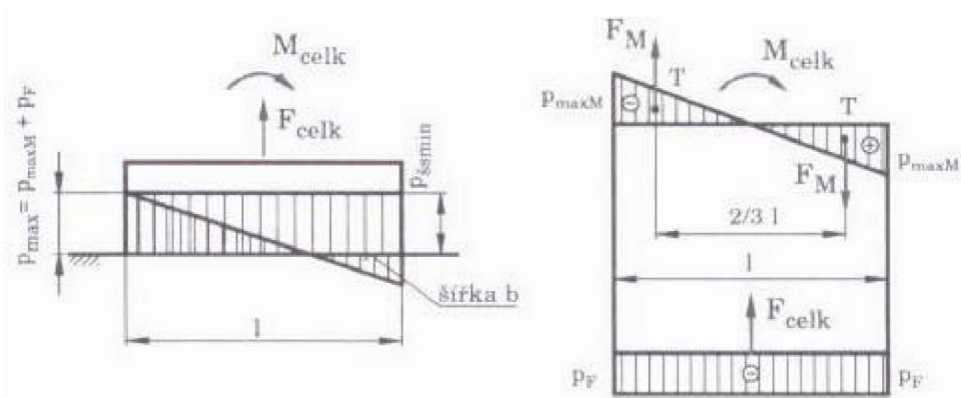
3.1. Rovnoměrné zatížení silou F_{celk}

$$F_{\check{S}Sjm} \leftarrow F_{celk} = n \cdot \check{S}S \cdot F_{\check{S}Sjm}$$



3.2. Rovinné zatížení od F_{celk} a M_{celk}

- zjednodušeně:



$$M_{celk} = F_M \cdot 2/3 l \Rightarrow F_M = M_{celk} / (2/3 l) \quad (5.1 - 3)$$

$$F_M = 12 \cdot 12 p_{maxM} \cdot b \Rightarrow p_{maxM} = M_{celk} / (16 \cdot l^2 \cdot b) = M_{celk} / W_0 \quad (5.1 - 4)$$

$$p_F = F_{celk} / b; \quad p_{max} = p_F + p_{maxM} \quad (5.1 - 5)$$

$$F_{\xi sjm} \leftarrow p_{max}(F_{celk}, M_{celk}) = p_{\xi sjm} = n_{\xi s} \cdot F_{\xi sjm \cdot b} \quad (5.1 - 6)$$

3.3. Prostorové zatížení od F_{celk} a M_{celk}

řeší se analogicky jako v rovině, ale navíc nutné uvažovat i třetí rozměr.

Stanovení max. zatížení šroubu a předpětí spoje (pro max. zatížený šroubový spoj)

Méně důležité šroubové spoje:

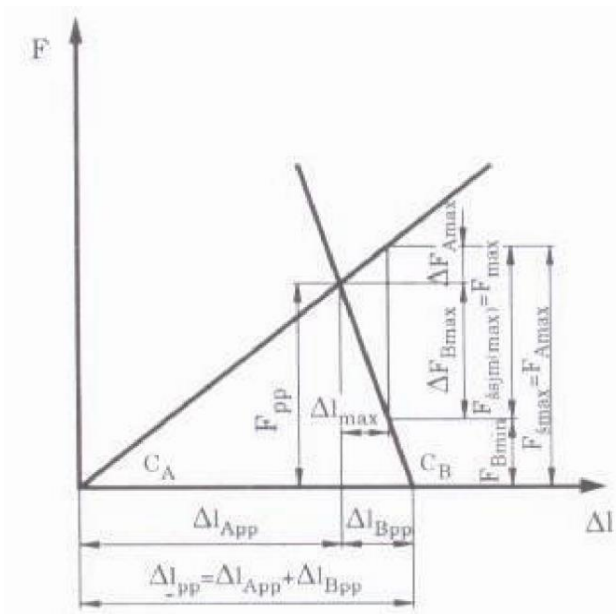
= max. zatížení šroubu: F_{ξ} se předpokládá, že bude mít velikost max. provozního zatížení šroubového spojení $F_{\xi s(max)}$ zvětšeného součinitelem bezpečnosti s :

$$F_{\xi max} = F_{\xi s(max)} \cdot s \quad (5.1 - 7)$$

kde: s (1,5 ÷ 2,5)

přičemž nižší hodnoty se volí pro větší $\varnothing d$, vyšší hodnoty se volí pro menší $\varnothing d$ (u menších průměrů šroubů je větší nebezpečí "přetržení" při předepínání) předpětí spoje FPP se nestanovuje, předpokládá se, že při předpětí („utažení“) bude při montáži úměrné velikosti šroubu a tudíž dostatečné.

Důležité šroubové spoje (jako předepjatý spoj - PP)



kde:

k_A ...tuhost zatěžované větve šroubového spoje

k_B ...tuhost odlehčené větve šroubového spoje

Bezpečnost spoje proti odlehnutí se vyjadřuje součinitelem neodlehnutí (nevhodně „těsnosti“) c_z :

$$F_{Bmin} = c\psi \cdot F_{max} > 0$$

$$c (0,5 \div 1,5)$$

větší \varnothing šr. menší \varnothing šr.

⇒ Max. zatížení šroubu:

$$F_{šmax} = F_{Amax} = F_{Bmin} + F_{max} = (1 + c\psi) \cdot F_{max}$$

$$C_{pp} = 1,5 \div 2,5$$

⇒ Předpětí spoje (pro daný součinitel neodlehnutí spoje c_z):

$$F_{PP} = F_{Bmin} + \Delta F_{Bmax} = c\psi \cdot F_{max} + k_B k_A + k_B \cdot F_{max} = (c\psi + k_B k_A + k_B) \cdot F_{max}$$

3.4. Pevnost při maximálním zatížení

napětí v jádře šroubu

$$\sigma_t = F_{šmax} / S_{šmin} \quad (5.1 - 8)$$

kde: obvykle $S_{šmin}$ je min. průřez jádra závitu: $S_{šmin} = \pi \cdot d_{šmin}^2 / 4$ (5.1 - 9)

Pozor, v tabulce uváděna (vlivem řezu závitovou plochou):

$$S_{šj} \text{ pro } d_{šj} = d_2 + d_3 > d_3$$

měrný tlak v závitech

Pokud jsou použity normalizované výšky matic a dodrženy doporučené min. délky závitů

(odst. 5.1.1) není nutné tlak v závitech hodnotit.

$p_z(stř) = F S_{max} n z \cdot S_1 Z = F S_{max} n z \cdot \pi \cdot (d_2 - D_1) z \cdot 4 \cong F S_{max} n z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \leq p D Z$
zjednodušeně (odst. 5.1.2)

4. Kolíkové, nýtové a čepové spoje – konstrukční uspořádání, návrh a kontrola

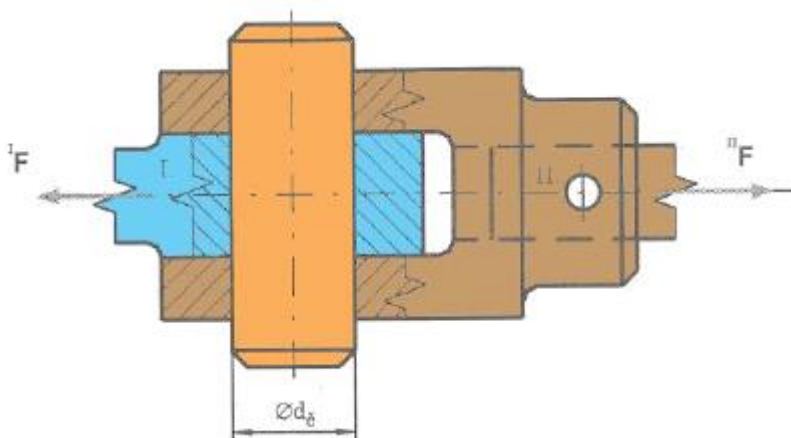
4.1. Spoje čepy (čepové spoje)

4.1.1. Charakteristika

Dobře rozebíratelná spojení pomocí válcového čepu vloženého s hybným uložením do otvorů ve spojených částech, takže jsou spojované části TS otočně pohyblivé okolo osy čepu.

4.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

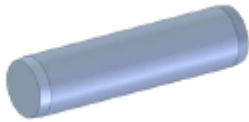
Typické provedení



Tvary

NORMALIZOVANÉ ČEPY

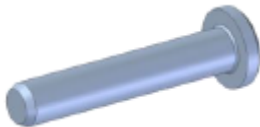
- bez hlavy
 - bez děr (ČSN EN 22340)



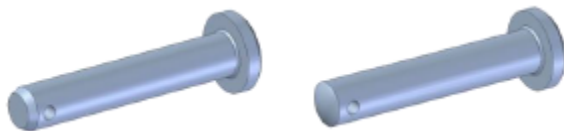
- s dírami pro závlačky (ČSN EN 22340)



- s hlavou
 - bez děr (ČSN EN 22341)

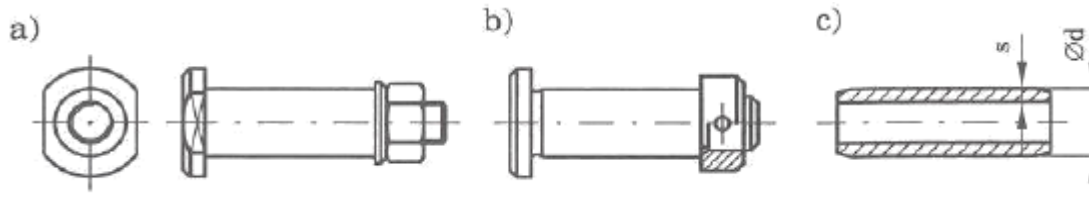


- s dírou pro závlačku (ČSN EN 22341)



NENORMALIZOVANÉ ČEPY

Příklady:



Rozměry, tolerance a uložení

Rozměry

- Normalizované čepy podle příslušné ČSN: \varnothing : 1 – 200 mm
- l: v přiřazených řadách

Tolerance a uložení

- Obvykle H11/h11 (příp. H10/h8 nebo H8/f8)

Materiály

- Normalizované čepy: oceli tř. 11 100 (11 103, 11 110)
- 11 300 (11 341, 11 373)
- 11 400 (11 423)

- Nenormalizované čepy: oceli tř. 11 500
- 11 600 91

4.1.3. Reflektivní vlastnosti čepových spojů

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTI

Provoz, údržba, opravy

- Přenos sil kolmých na osu čepu při možnosti natáčení spojených částí (jako klouby).
- Vůle ve spoji jsou na závadu při dynamickém zatěžování.
- Při provozu vyžaduje spoj mazání (pokud není opatřen samomazným pouzdem ap.).
- Rozebíratelnost závisí na způsobu axiálního zajištění čepu, většinou jednoduchá.
- Spolehlivost proti uvolnění rovněž závisí na způsobu axiálního zajištění čepu, většinou vysoká.
- Spolehlivost proti poruše je dána spíše přilehlými zónami (partiemi) spojovaných částí, než samotným čepem.

Výroba, montáž

- Velmi jednoduchá výroba, konstrukční úpravy spojovaných částí jsou jednoduché (zarovnání čel a vystružení), čepy i prvky pro zajištění polohy čepu se většinou nakupují jako normalizované díly

- (komponenty), výroba nenormalizovaných čepů je rovněž (obecně) jednoduchá.

4.2. Spoje kolíky (kolíkové spoje)

4.2.1. Charakteristika (konstrukční znaky)

Pevná (tj. nepohyblivá) rozebíratelná spojení pomocí (válcových nebo kuželových) kolíků vložených těsně do (příčných) otvorů ve spojovaných částech nebo do (podélných) otvorů mezi spojovanými částmi.

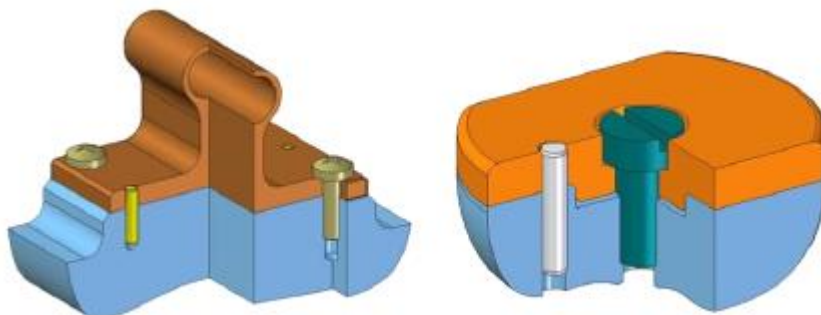
Poznámky:

- Spoje kolíky se většinou používají v kombinaci s jinými druhy spojů (příp. uložení) tak, aby bylo optimálně docíleno požadovaných vlastností výsledného spoje.
- Vzhledem k tomu, že přilehlé zóny (partie) částí strojů spojovaných kolíky (jakož i kombinace s jinými druhy spojů) bývají pro charakter své stavební struktury obtížně deformačně řešitelné, je žádoucí umísťovat tyto spoje tak, aby jejich zatížení bylo staticky určité (nebo alespoň řešitelné za přijatelného zjednodušení).

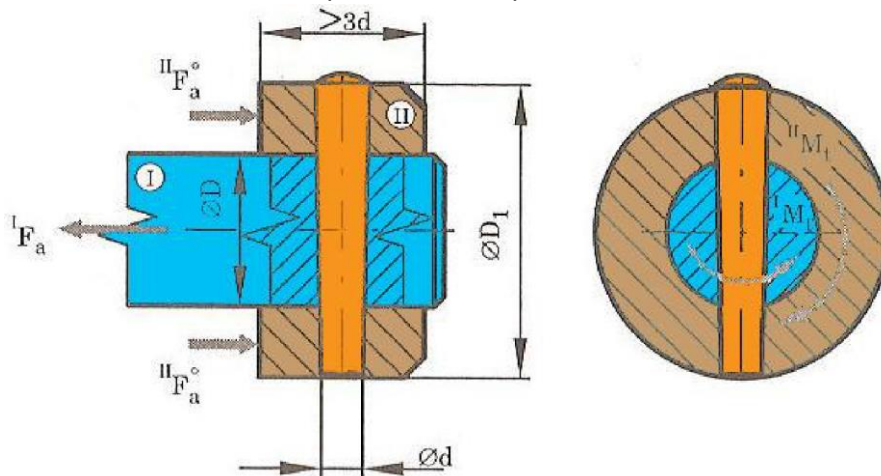
4.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

Typická provedení

PRO ZAJIŠTĚNÍ POLOHY (hlavní funkce)



PRO PŘENOS ZATÍŽENÍ (hlavní funkce)



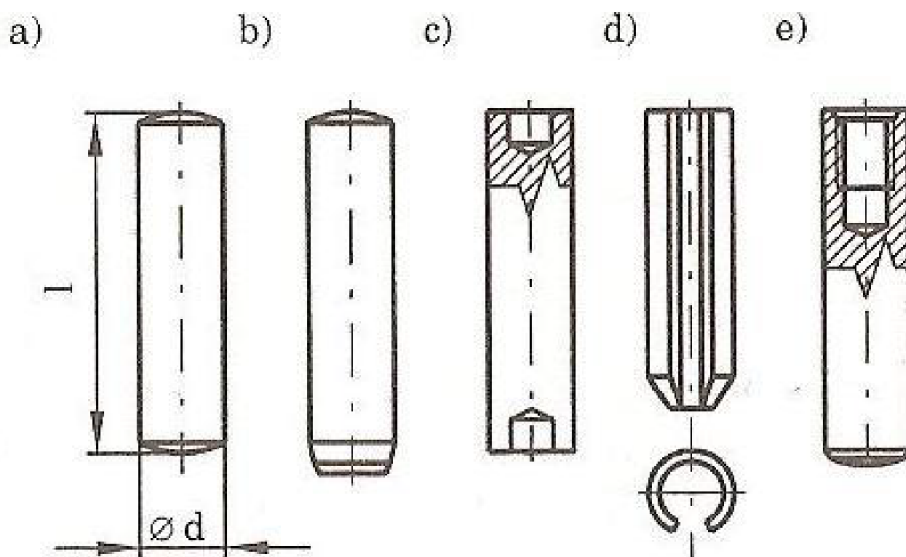
$$F_a I = F_a II = F_a$$

$$M_t I = M_t II = M_t$$

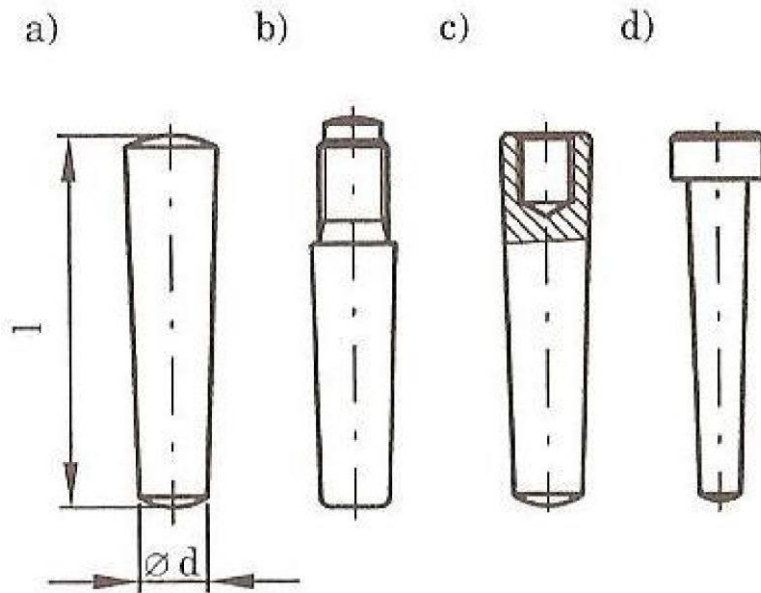
Tvary

NORMALIZOVANÉ KOLÍKY

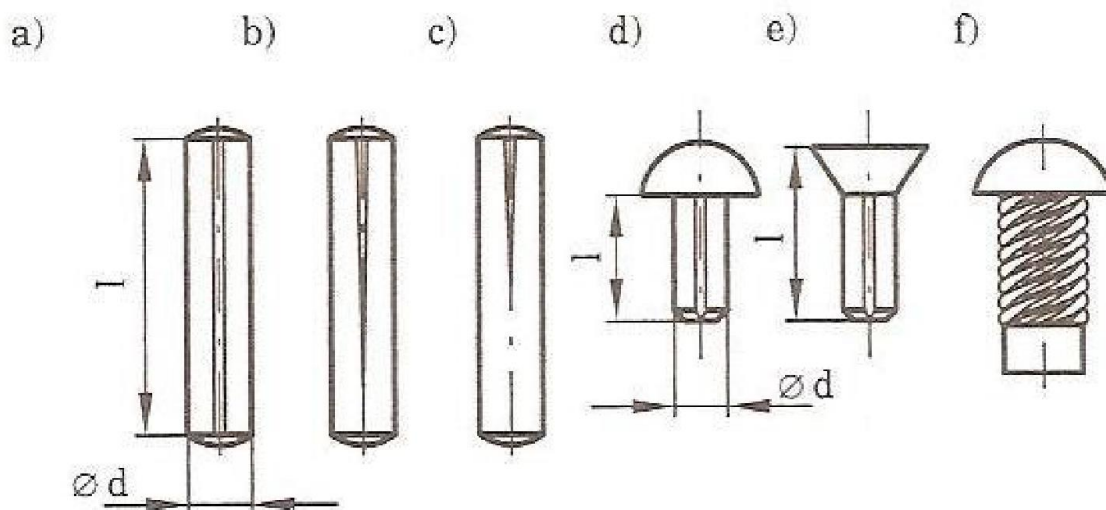
- válcové (hladké)
 - válcové nezakalené (standardní) (ČSN EN 22338+AC) a)
 - válcové kalené (ČSN EN 28734) b)
 - válcové s konci k roznýtování (ČSN 02 2140) c)
 - válcové pružné s mezerou (ČSN EN 28752) d)
 - válcové s vnitřním závitem kalené (ČSN EN 28735) e)
 - válcové s vnitřním závitem nezakalené (ČSN EN 28733) e)



- **kuželové (hladké) - (kuželovitost 1 : 50)**
 - kuželové nezakalené (standardní) (ČSN EN 22339) a)
 - kuželové s vnějším závitem nezakalené (ČSN EN 28737) b)
 - kuželové s vnitřním závitem nezakalené (ČSN EN 28736) c)
 - kuželové s hlavou (ČSN 02 2157) d)



- **rýhované**
bez hlavy a) ÷ c), s hlavou (označené jako hřebky d) ÷ f)
 - s vodicím čepem (ČSN EN 28739) a)
 - se sražením (ČSN EN 28740)
 - s rýhováním ve střední třetině délky (ČSN EN 28742) b)
 - s rýhováním uprostřed na polovině délky (ČSN EN 28743)
 - kuželově rýhované (ČSN EN 28744)
 - kuželově rýhované s rýhováním od poloviny délky (ČSN EN 28741) c)
 - kuželově rýhované s rýhováním do poloviny délky (ČSN EN 28745)
 - rýhované hřebky s půlkulovou hlavou (ČSN EN 28746) d)
 - rýhované hřebky se zápustnou hlavou (ČSN EN 28747) e)
 - šroubové hřebky (ČSN 02 2195) f)



Rozměry, tolerance a uložení

Rozměry

- Podle příslušné ČSN $\varnothing d$: (0,6 ÷ 50) mm
- l : v přiřazených řadách

Tolerance a uložení

- Válcové hladké obvykle: H7/n6 (k rozkýtování H11/h11)

Materiály

- Válcové a kuželové kolíky: oceli tř. 11100 (11107, 11109)
- 11300 (11323, 11373)
- 11400 (11423)
- 11600
- Válcové pružné a kalené kolíky: oceli tř. 11700
- Válcové kalené kolíky: oceli tř. 19400 (19421)

4.2.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTI

Provoz, údržba, opravy

- Přenos sil kolmých na osu kolíku s cílem:
 - zajištění vzájemné polohy spojených částí
 - přenosu příslušného zatížení mezi spojovanými částmi

Jedna z funkcí je obvykle hlavní (viz. TYPICKÁ PROVEDENÍ SPOJE), mohou však být i rovnocenné.

- Kuželové a rýhované kolíky jsou vhodné pro bezvúlové spojení (rýhované však jen pro min. zatížení).
- Kolíky pro zajištění polohy se umísťují co nejdále od sebe, ale tak, aby při opětovné montáži nedovolily chybné spojení (např. pootočením spoj. částí, apod.).
- Rozebíratelnost a spolehlivost proti uvolnění je nutno zajistit vhodnou volbou kolíku a konstrukcí spoje.
- Spolehlivost spoje proti poruše (zejm. při dynam. namáhání) je ovlivňována především přilehlými zónami (partiemi) spojovaných částí, v nichž mají díry pro kolík nepříznivé vrubové účinky.

Výroba, montáž

- Velmi jednoduchá výroba (prakticky jedině vrtání a vystružení při montáži), kolíky se téměř výhradně nakupují.
- Při montáži nutné pojistit proti uvolnění podle typu kolíku (kuželové a rýhované např. "zaražením" apod.).

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Velmi rychlý návrh, výroba (a nákup), montáž i demontáž.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTI

Hospodárnost procesů

- Levný spoj.
- Provozní náklady dány pouze nároky na mazání.
- Náklady na demontáž minimální.

5. Tvarové spoje hřídele s nábojem – pomocí per, klínů a drážkování

5.1. Spoje pery a klíny (spoje na pera a klíny)

5.1.1. Charakteristika (konstrukční znaky)

Jednoduše rozebíratelná spojení pomocí per, příp. klínů hranolového tvaru (u klínů se skosením na jedné z ploch) vložených do podélných vybrání nebo (výjimečně) příčných otvorů odpovídajícího tvaru ve spojovaných částech.

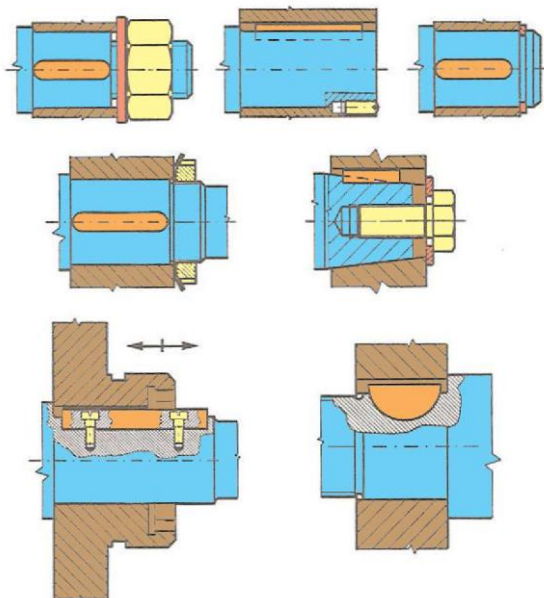
Poznámky:

- Spoje pery a klíny se používají téměř výhradně **na válcové ploše**. Dále bude proto uvažován pouze tento případ.
- Spoje pery a klíny bývají většinou používány **v kombinaci s jinými druhy spojů** a uložení tak, aby bylo optimálně docíleno všech požadovaných vlastností výsledného spoje (vzájemná axiální poloha, souosost spojovaných částí apod.).
- Vzhledem k tomu, že přilehlé zóny (partie) částí strojů spojovaných pery a klíny (jakož i kombinace s jinými druhy spojů) bývají pro charakter své stavební struktury obtížně deformačně řešitelné, je žádoucí umísťovat tyto spoje tak, **aby jejich zatížení bylo staticky určité** (nebo v krajním případě řešitelné za přijatelného zjednodušení).

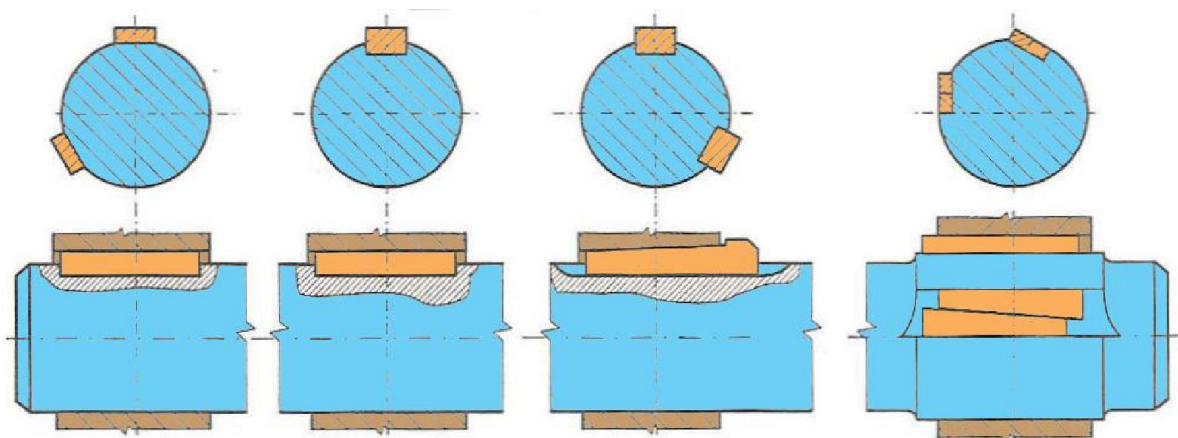
5.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

Typická provedení

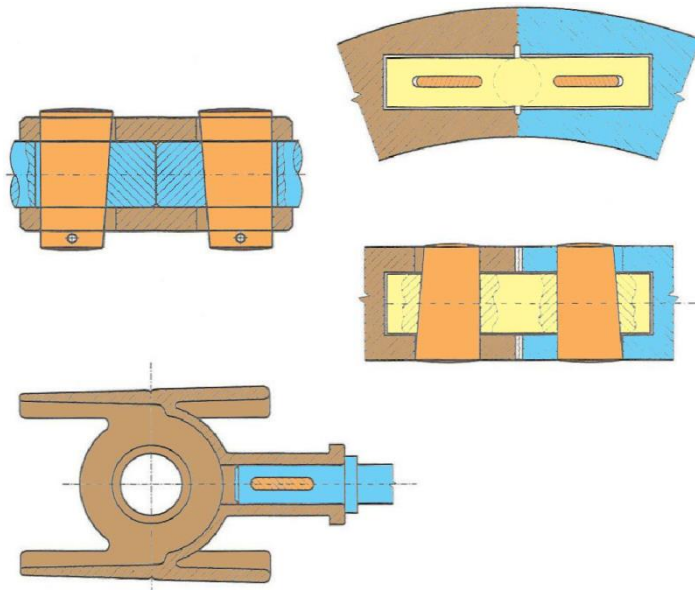
SPOJE PEREM (včetně způsobů zajištění spoj. částí proti posuvu)



SPOJE PODÉLNÝMI KLÍNY (úkos na „horní“ ploše klínu 1:100)



SPOJE PŘÍČNÝMI KLÍNY (úkos na „boční“ ploše klínu 1:25 až 1:10)



Poznámky:

- Spoj podélným klínem používaný pro spojení náboje a hřídele se liší od analogického spoje s perem především v tom, že přenáší zatížení třecí silou vyvozenou zaražením klínu do drážky s opačným smyslem úkosu (příp. na druhý klín, takže dna obou drážek pak mohou být bez úkosu). Boční plochy klínu v drážce, příp. jiné opěrné plochy slouží pouze jako pojištění proti prokluzu. Spoje s podélnými klíny jsou proto vhodné pro přenos velkých, a to i rázových, zatížení.
- Jejich zásadními nevýhodami však je, že:

= **normální sílu (tlak) vzniklou zaražením klínu** a tudíž ani tečné třecí síly zajišťující únosnost spoje **nelze zjistit**.

= vlivem zaražení klínu se ve spoji **vymezují příčné vůle pouze v jednom smyslu**, což je u jejich nejčastějšího použití mezi nábojem (řemenice, ozubeného kola, setrvačníku, apod.) a hřídelem značně na závadu.

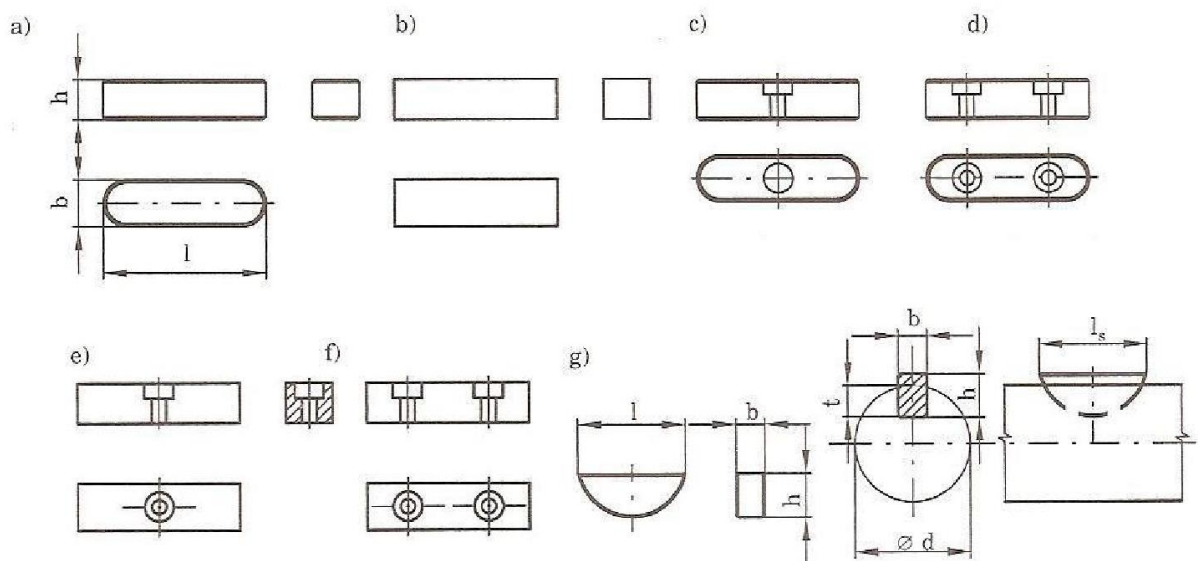
- Spoje s podélnými klíny se proto již prakticky nepoužívají a pokud výjimečně ano, tak pro uvedenou nejistotu se stejně jejich "boční" plochy obvykle navrhují a pevnostně hodnotí pro přenos plného zatížení, tj. jako u spoje s pery. V doporučené literatuře jsou uvedeny podrobné informace pro jejich řešení.
- Spoje s příčnými klíny se používaly zejména u velkých klikových mechanismů, setrvačnicků, táhel apod. V současné době se již používají zřídka. V doporučené literatuře jsou uvedeny podrobné informace pro jejich řešení

- Dále budou uvažovány pouze běžně používané spoje podélnými perami.

TVARY, ROZMĚRY, TOLERANCE A ULOŽENÍ

Druhy (dle ČSN) - (nenormalizovaná pera se prakticky nepoužívají)

- **těsná** - pro spoje neposuvné
 - zaoblená (ČSN 02 2562) a)
 - s rovnými čely (zřídka) - (ČSN 30 1382) b)
- **výměnná a volná** - pro spoje posuvné
 - zaoblená ("výměnná") - (ČSN 02 2570) 1 šr. c) - (ČSN 02 2575) 2 šr. d)
 - s rovnými čely ("volná") - (ČSN 30 1383) 1 šr. e) - (ČSN 30 1385) 2 šr. f)
- **úsečové (Woodruffovo)** - pro spoje neposuvné
 - (jen $d \leq 50$ mm) g)
 - (ČSN 30 1385)
- **ostatní tvary** (drážek, příp. závitových otvorů, apod.) – podle příslušné ČSN



Rozměry

- Podle příslušné ČSN pro $\varnothing d$: (6 ÷ 500) mm
 - l: v přiřazených řadách
- Přiřazení průřezu per k rozměrům hřídele dle ČSN
 - (ČSN 02 2507, ČSN 30 1036, ČSN 30 1037)

Poznámky:

- Pozor: přiřazení průřezu neznamena, že není nutné pero navrhovat a pevnostně hodnotit podle zatížení, rozdílly jsou ve stykové délce pera!
- Délka pera obvykle: $1 \div 1,5 d$ pro součásti z oceli
- $1,5 \div 2,5 d$ pro součásti z litiny

Tolerance a uložení

- **Válcová část spoje:**
 - neposuvné spoje (běžně): H8/h7 (příp. H8/k7)
 - (při vyšších nárocích: přechodné H8/m7, H8/p7)
 - (při vysokých nárocích: nalisované H7/r6, H7/

Materiály

- běžně: oceli 11 600
- pro větší zatížení: oceli 14 240

5.1.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos sil kolmých na podélnou osu pera; pokud není žádoucí posuv podél osy pera, nutné spoj zajistit jiným způsobem (viz. TYPICKÁ PROVEDENÍ). Při malých axiálních silách lze též použít uložení válcových ploch s přesahem.
- Vůle ve spoji jsou na závalu při dynamickém zatěžování.
- Rozebíratelnost závisí na způsobu zajištění v axiálním směru, obvykle jednoduchá.
- Spolehlivost proti uvolnění rovněž závisí na způsobu zajištění v axiálním směru, obvykle vysoká.
- Spolehlivost proti poruše je dána především přilehlými zónami (partiemi) spojovaných částí, v nichž mají drážky pro pero nepříznivé vrubové účinky.

Výroba, montáž

- Výroba drážek vyžaduje speciální nářadí, pera se nakupují
- Při montáži nutné zajistit, příp. omezit axiální posuv spojovaných část

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Velmi rychlý návrh, relativně pomalá výroba (pokud není speciální nástroje), nevhodný pro sériovější výrobu.
- Rychlost montáže a demontáže závisí na celkovém konstrukčním provedení spoje, obvykle rychlé.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Středně nákladný spoj
- Provozní náklady nulové
- Náklady na demontáž relativně malé

5.2. Spoje drážkami (drážkové spoje)

5.2.1. Charakteristika (konstrukční znaky)

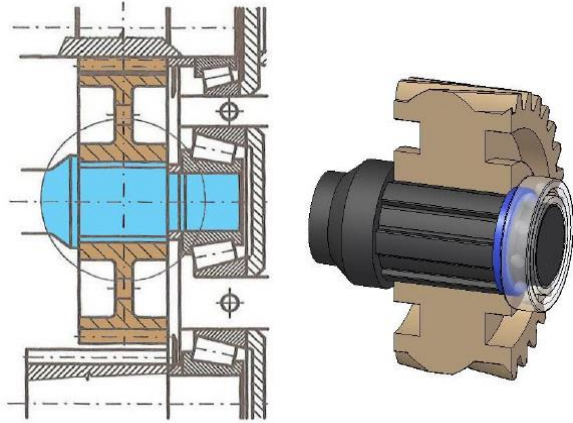
Jednoduše rozebíratelná spojení pomocí spoluzabírajících přímých drážek (zubů, per) vytvořených na spojovaných částech.

Poznámky:

- Drážkové spoje se používají výhradně s drážkami vytvořenými na ose symetrické ploše. Drážky mohou být tudíž vůči ose symetrie spoje rovnoběžné, šikmé i kolmé. Dále budou uvažovány pouze nejpoužívanější drážkové spoje na principu spoluzabírajících vnějších a vnitřních drážek (zubů) na válcové ploše, (tj. rovnoběžných s osou (středem) symetrie spoje).
- Drážkové spoje s drážkami na válcové ploše musí být většinou použity v kombinaci s dalšími druhy spojů (příp. uložení), aby bylo optimálně docíleno všech požadovaných vlastností spoje (vzájemná axiální poloha, někdy i přesnější sousost spoj. částí apod.).

5.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

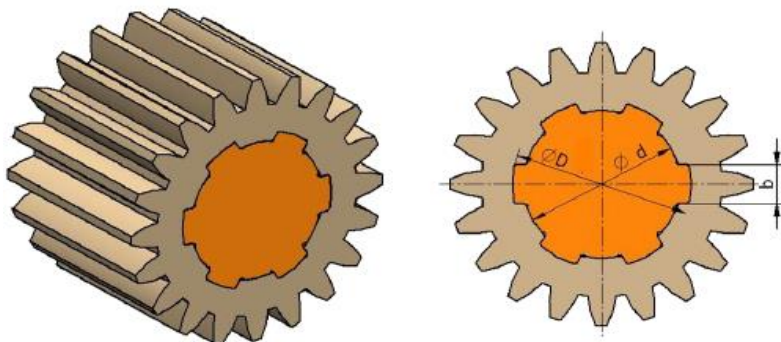
Typická provedení (včetně způsobů pojištění proti osovému posuvu)



Tvary, rozměry a tolerance

ROVNOBOKÉ DRÁŽKOVÁNÍ (ČSN 01 4942)

Základní tvar příčného řezu



Druhy dle počtu a rozměru drážek /per

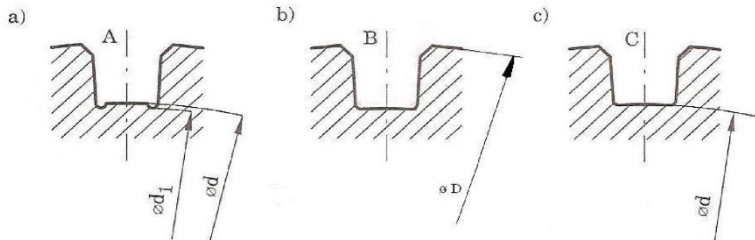
- řada lehká
- řada střední
- řada těžká

Poznámka:

- Všechny tři řady mají dle uvedené ČSN shodné odstupňování δ .

Druhy (provedení) dle způsobu středění a výroby

- A středění na vnitřním $\varnothing d$ při výr. odvalováním a)
- B středění na vnějším $\varnothing D$ nebo bocích b)
- C středění na vnitřním $\varnothing d$ c)



Rozměry

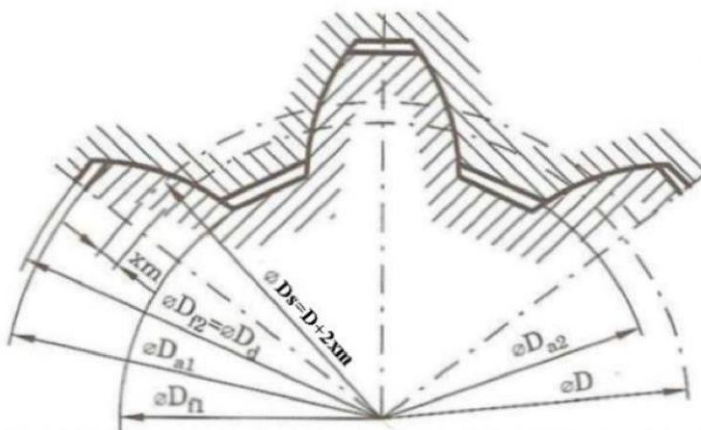
- Podle ČSN (01 4942) jmenovitý $\varnothing d$: (23 ÷ 112) mm (v řadě), styková délka l_{st} (1 ÷ 1,5) d_{st}

Tolerance a uložení

- Podle ČSN (01 4949)

EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ (ČSN 01 4952 - 01 4955)

Základní tvar příčného řezu



Ozubení

- tvar boků drážek: evolventní
- úhel záběru: $\alpha = 30^\circ$
- moduly: $m = (0,5 \div 10)$ mm

- korekce kladná i záporná: $x_m < 0$
- $x_m > 0$
- počty zubů: $z = 6 \div 20$

Druhy dle způsobu středění a tvaru (provedení) drážek:

- středění na bocích zubů, dna plochá
- středění na bocích zubů, dna oblá
- středění na hlavové ploše zubů hřídele, dna plochá

Poznámka:

- Běžně se používá středění na bocích zubů; středění na hlavové ploše zubů hřídele (vnější středění) se používá jen při požadavcích na přesnost souososti hřídele a náboje.

Rozměry

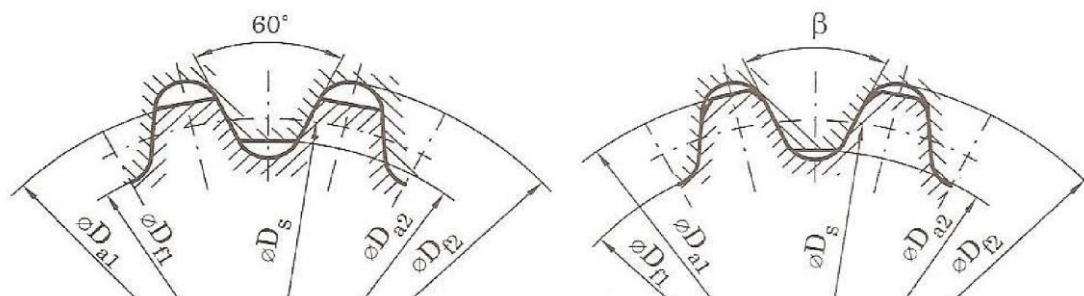
- Podle ČSN (01 4952 - 01 4955), jmenovitý $D_d = (4 \div 500)$ mm, styková délka $l_{st} (1 \div 1,5)$ dstř

Tolerance a uložení

- Podle ČSN (01 4953)

JEMNÉ DRÁŽKOVÁNÍ

Základní tvar příčného řezu



Ozubení

Pro $\varnothing D_{a1} \leq 60\text{mm}$:	
tvar boků zubů na hřídeli i náboji:	rovinný
sklon boků drážek:	$\beta = 60^\circ$
Pro $\varnothing D_{a1} > 60\text{mm}$:	
tvar boků zubů na hřídeli:	evolventní
modul:	$m = 1,5\text{ mm}$
úhel záběru:	$\alpha = 27^\circ 30'$
tvar boků zubů v náboji:	rovinný
sklon boků drážek (podle $\varnothing D_{a1}$):	$\beta \cong 60^\circ (57^\circ \div 63^\circ)$
počty zubů:	$z = 6 \div 20$

Rozměry

- Podle ČSN (01 4933) jmenovitý $\varnothing D_{a1} = (8 \div 120)$ mm, styková délka $l_{st} (1 \div 1,5)$ dstř

Tolerance a uložení

- Podle ČSN (01 4933)

Materiál

- Kvalitní oceli pro obě spojované části:
- min. pevnost v tlaku: $\sigma_{Pt} \geq 500\text{ MPa}$

- min. tvrdost boků pro posuvné spoje: $HRC \geq 55$

5.2.3. Reflektivní vlastnosti drážkových spojů - ROVNOBOKÉ a EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos vysokých točivých momentů při střídavém i rázovém zatížení, vůle v drážkách však mohou být na závadu.
- Požadavky na přesnou souosost nutné zajistit buď (dražším) druhem ozubení, nebo jiným způsobem středění.
- Vhodnost pro axiální posun spojovaných částí bez zatížení i při zatížení točivým momentem, jinak nutné axiálně zajistit.
- Rozebíratelnost závisí na způsobu zajištění v ax. směru, obvykle jednoduchá.
- Spolehlivost proti poruše (zejména při dynam. namáhání) je nepříznivě ovlivňována vrubovými účinky drážek a jejich výběhů

Výroba, montáž

- Výroba vyžaduje speciální nářadí a strojní vybavení.
- Montáž relativně jednoduchá.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Rychlý návrh (s využitím tabulkových údajů v ČSN)
- Výroba relativně rychlá jen při vhodném vybavení, montáž a demontáž rychlá.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Nákladný spoj, ekonomický pouze při sériové výrobě, pak ale hospodárnější než spoje s pery, apod.
- Provozní náklady u přesuvných spojů dány pouze mazáním, jinak nulové.
- Náklady na demontáž minimální.

5.2.4. Reflektivní vlastnosti drážkových spojů - JEMNÉ DRÁŽKOVÁNÍ

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivých momentů, oproti spojům s pery menší potřebná délka spoje při témže zatížení.
- Nutné zajistit proti axiálnímu posuvu spojovaných částí.
- Rozebíratelnost závisí na způsobu zajištění v axiálním směru, obvykle jednoduchá.
- Spolehlivost proti poruše je negativně ovlivňována vrubovými účinky drážek a jejich výběhu, zeslabení hřídele je však menší než u rovnobokého a evolventního drážkování.

Výroba, montáž

- Jako u rovnobokého a evolventního drážkování.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Jako u rovnobokého a evolventního drážkování

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Jako u rovnobokého a evolventního drážkování

6. Silové spoje hřídele s nábojem – nalisované a svěrné

6.1. Spoje nalisováním (nalisované spoje)

6.1.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivě za provozu spojená) obtížně rozebíratelná spojení na principu stálého pružného předpětí spojovaných částí pomocí přesahu v jejich stykové ploše (libovolného tvaru).

Dále však bude uvažován pouze nejběžnější nalisovaný spoj s válcovou (nebo mírně kuželovou 1 : 50) stykovou plochou.

6.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

Vnější část ("náboj")

Rotačně symetrická součást (ozubené kolo, ozubený věnec, kotouč spojky, setrvačnick, apod.), nebo její „deformačně aktivní“ část (viz dále), jejíž vnitřní (funkční) válcová (díra) je vyrobena ve stanovené toleranci a jakosti povrchu.

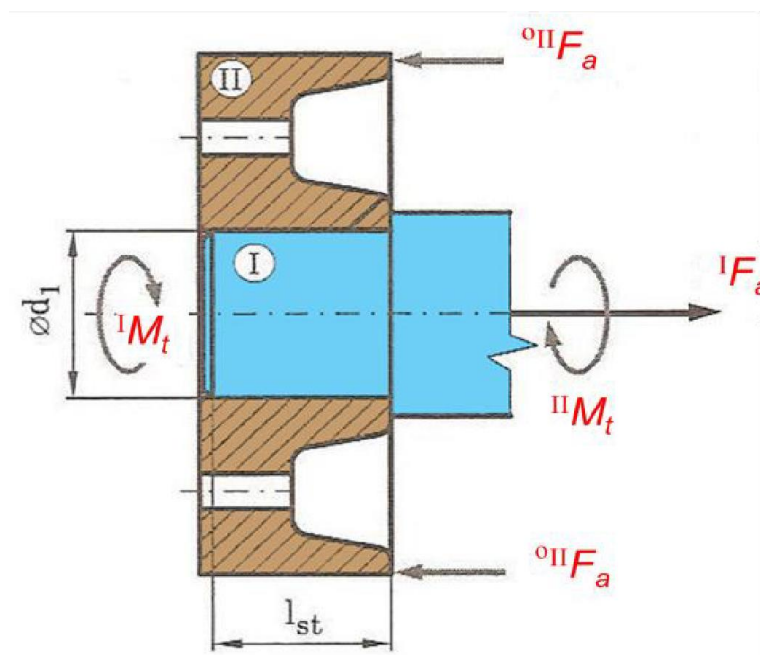
Vnitřní část ("čep")

Rotačně symetrická plná, příp. i dutá část (disk ozubeného kola, plný nebo dutý hřídel, atd.) jejíž vnější (funkční) válcový povrch je vyroben v rozměrové toleranci se stanoveným přesahem vůči rozměrům příslušného válcového otvoru vnější části a ve stanovené jakosti povrchu.

Poznámka:

- Přesah může být stanoven i v opačném pořadí (vnitřní část \Rightarrow vnější část), výše uvedená varianta je však podstatně vhodnější z hlediska výroby a je tudíž nejběžnější.

Příklad typického provedení



$$M_{tI} = M_{tII} = M_t$$

$$F_{I} = F_{II} = F$$

Označení o znamená působení po celém obvodu

6.1.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivého momentu a/nebo osové síly třecí silou vyvozenou ve stykové ploše stálým předpětím a součinitelem tření. Spoj může přitom zachycovat i klopný ("ohybový") moment.
- Vhodnost i pro velká zatížení, která mohou být též střídavá i rázová, neboť spoj je bez vůle.
- Vysoká přesnost souososti i kolmosti spojení.
- Vysoká spolehlivost všech vlastností spojení.
- Nepotřebnost údržby, avšak při nutnosti demontáže (výměna, oprava, apod. spojovaných dílů), je rozebíratelnost velmi obtížná, někdy i nemožná.

Výroba, montáž

- Značná náročnost na přesnost výrobních tolerancí.
- Relativní obtížnost montáže:
 - nalisování za studena (lisovací zařízení)
 - natažení (ne nalisování!) za tepla (zařízení pro rovnoměrné ohřátí a bezpečnou

manipulaci s vnější částí) s případným ochlazením vnitřní části (zařízení pro podchlazení).

V obou případech je nezbytný osový "doraz" na součástech pro přesné ustavení vzájemné axiální polohy (tj. opěrné, nejčastěji mezikruhové plochy kolmé na osu).

- Vhodnost pro všechny typy výroby při přiměřených výrobních prostř. (kusová, malosériová, ...).

Ostatní hlediska

- Relativně nebezpečná montáž - lisování, příp. manipulace s horkou součástí při nasazování za tepla.
- Relativně bezpečné v provozu - hladké tvary.
- Tolerance uložení musí odpovídat ČSN.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Spoj je vhodný pro rychlý návrh a realizaci, nevyžaduje žádná speciální opatření (materiál, polotovary, nářadí), pokud jsou k dispozici vhodné lisovací nebo ohřívací (ochlazovací) technické prostředky.
- Není vhodný pro rychlé opravy a demontáže.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

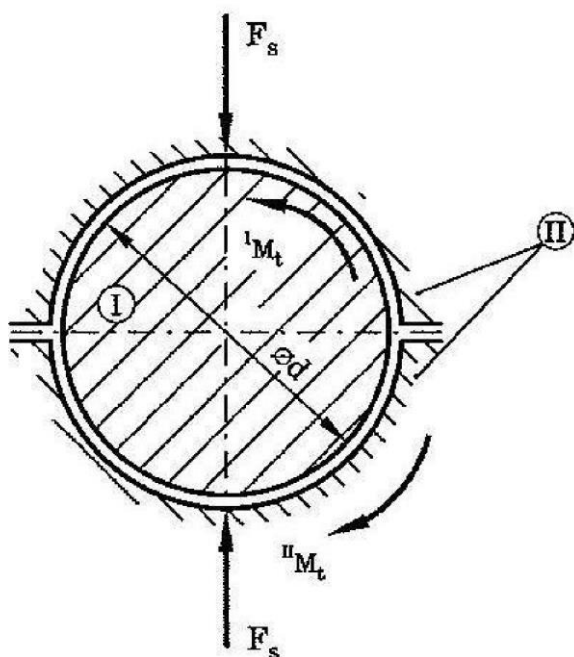
Hospodárnost procesů

- Výrobní náklady střední.
- Provozní náklady nulové.
- Náklady na demontáž značné, případně

6.2. Spoje sevřením (svěrné spoje)

6.2.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

Pevná, snadno rozebíratelná spojení na principu sevření (příp. vzeprění) spojovaných částí v jejich stykové ploše (libovolného tvaru) pomocí elementů, které se přímo nezúčastňují vlastního přenosu zatížení. Dále budeme uvažovat pouze nejběžnější svěrné spoje s rotačně symetrickou stykovou plochou.

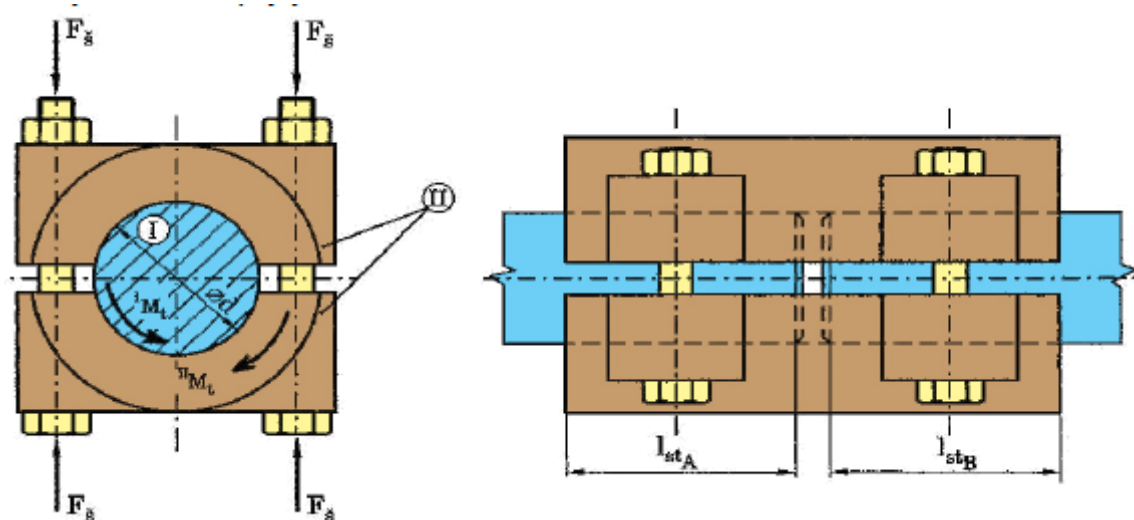


styková délka: l_{st}

$$M_t I = M_t II = M_t$$

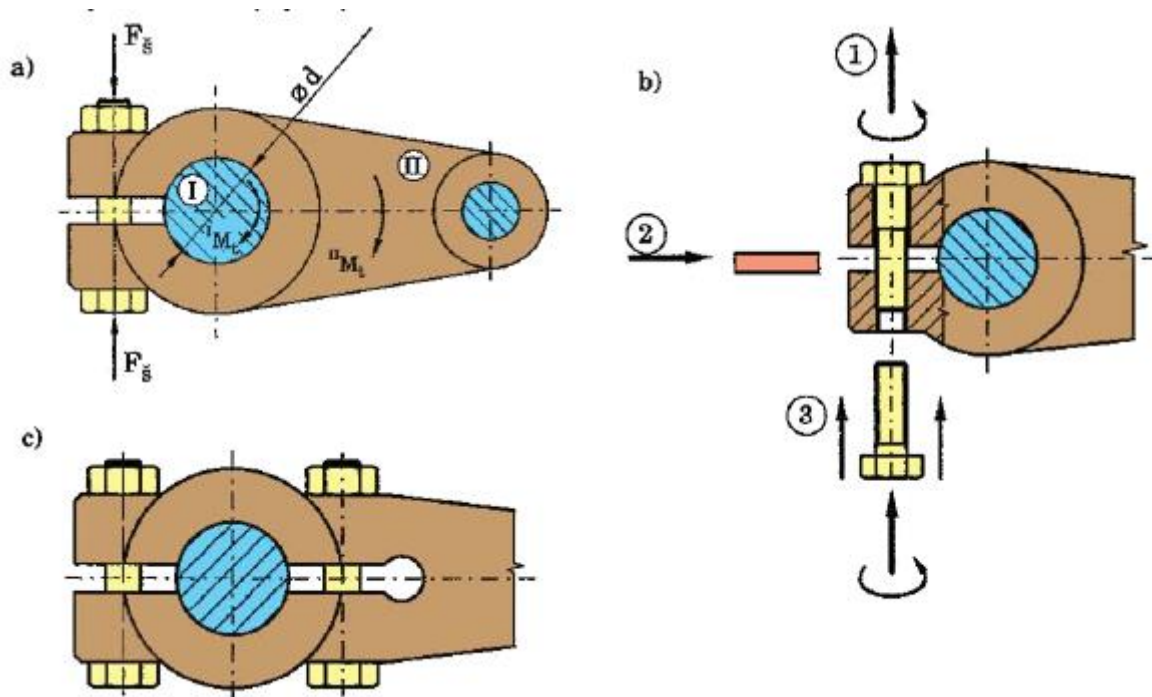
6.2.2. Stavební struktura svěrných spojů s válcovou stykovou plochou

A) S DĚLENOU VNĚJŠÍ ČÁSTÍ
obvykle svěrné spojky hřídelů:



$$M_t I = M_t II = M_t$$

B) S ČÁSTEČNĚ DĚLENOU VNĚJŠÍ ČÁSTÍ
obvykle svěrná spojení pák s hřídelí:

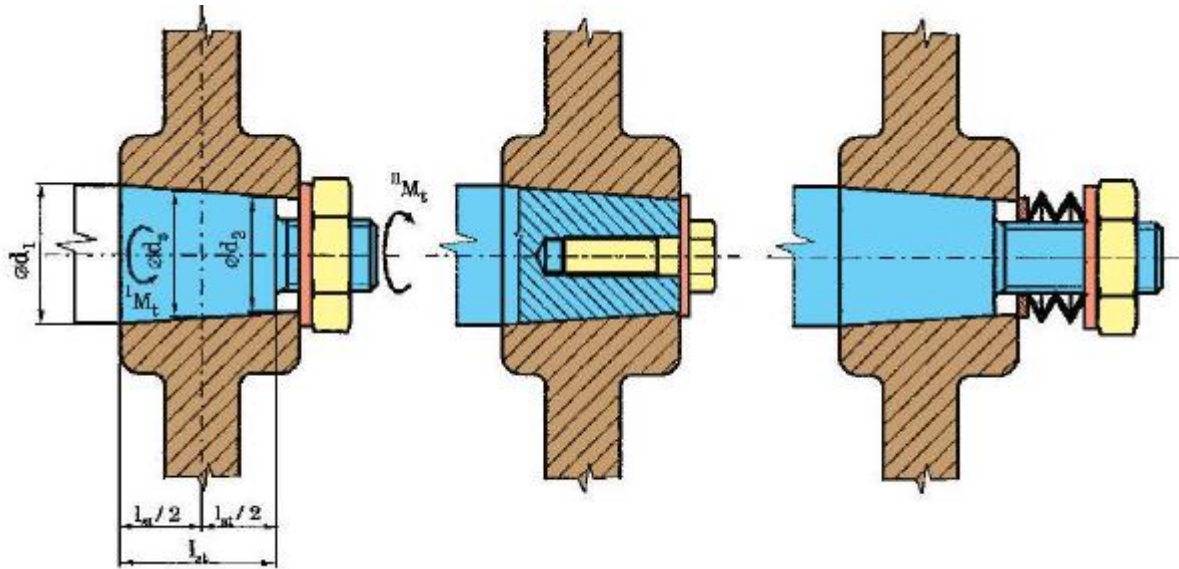


Uložení vnější a vnitřní části:

- A), B) a) b) – přechodná B) c) – s přesahem (malé A)
- buď H8/j7 nebo H8/k7 H8/n7 nebo H8/p7
- příp. H7/j6 nebo H7/k6 H7/n6 nebo H7/p6
- C) S NEDĚLENOU VNĚJŠÍ ČÁSTÍ (pro malé \varnothing a malé M_t)

6.2.3. Stavební struktura svěrných spojů s kuželovou stykovou plochou

(pouze s nedělenou vnější částí)
obvykle ke spojení nábojů s hřídelí na jejich koncích:



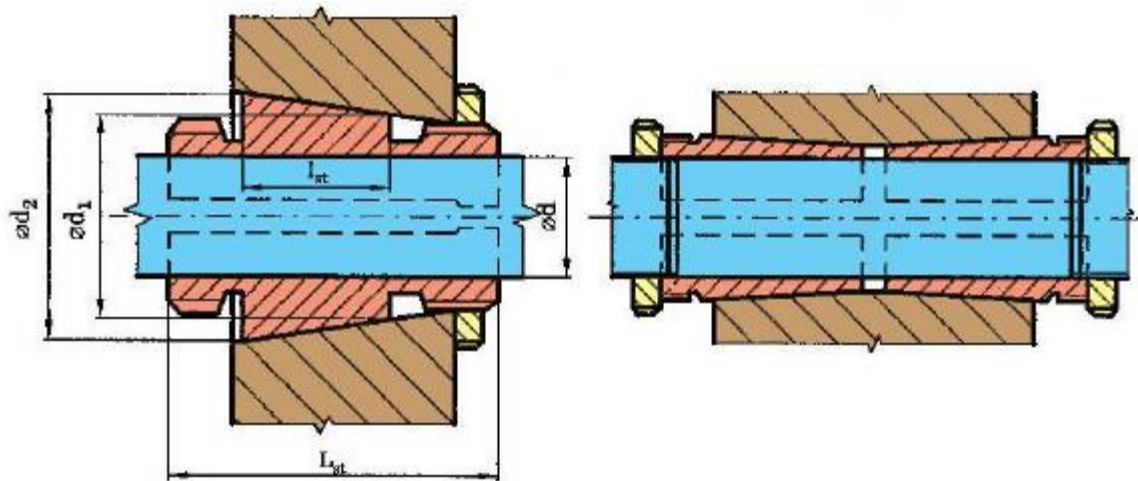
$$M_{tI} = M_{tII} = M_t$$

$$d_s = d_1 + d_2$$

Kuželovitost: 1:5 až 1:10

6.2.4. Stavební struktura svěrných spojů s kuželovým pouzdem

(pouze s nedělenou vnější částí)
obvykle ke spojení ("nábojů") vnitřních kroužků ložisek apod. s hřídelí kdekoli po její délce:



Kuželovitost: 1:10 až 1:15

Uložení pouzder na hřídeli – přechodná: H8/j7

Tyto spoje se nepoužívají pro přenos větších zatížení, nebudeme proto dále uvažovat.

6.2.5. Reflektivní vlastnosti svěrných spojů

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivého momentu a osově síly (třecí silou vyvozenou ve stykové ploše vyvozeným sevřením) vzepřením a součinitelem tření). Spoj může zachycovat i klopný ("ohybový") moment.
- Jednoduchost demontáže, výměny i opětovného nastavení vzájemné polohy spojovaných částí (s výjimkou nezaručené axiální polohy u spojů s kuželovou stykovou plochou).
- Spolehlivost spoje závisí významně na spolehlivosti pojištění svíracích elementů proti uvolnění.
- Spolehlivost oproti únavovému lomu značná (žádné tvarové vruby na hřídeli).

Výroba, montáž

- Výroba i montáž relativně nenáročná
- Dělené součásti nutné obrábět společně
- Jednoduchost montáže a nastavení vzájemné polohy spojovaných částí (s výjimkou nezaručené axiální polohy u spojů s kuželovou stykovou plochou).

Ostatní hlediska

Relativně nebezpečné pro obsluhu při otáčení vlivem vnějších nerotačních tvarů (někdy nutné zakrytovat).

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Vhodnost pro rychlý návrh, výrobení, montáž, údržbu i demontáž.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Výrobní náklady relativně malé.
- Provozní náklady nulové.
- Náklady na demontáž minimální.

7. Pružné spoje

7.1. Pružné spoje

7.1.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Strojní částí (orgány), jejichž hlavní funkcí je přijmout, uchovat a opět vydat mechanickou energii na principu pružné deformace materiálu.

Poznámky:

- Základním modulem každé pružiny je "jednotlivá pružina". U složených pružin je proto nejprve nutné na základě silových (např. momentových) a deformačních podmínek určit zatížení jednotlivých pružin, které se pak řeší samostatně. Vlastnosti složené pružiny se pak získají opačným postupem. · V rozhodující většině případů se používají pružiny na principu poddajných tvarů nebo tvarově poddajných materiálů. Pružiny na principu objemově poddajných materiálů (pneumatické, hydropneumatické apod.) se používají pouze ve speciálních případech a jsou proto dále uvažovány jen v úvodní společné části této kapitoly.

7.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

PRACOVNÍ CHARAKTERISTIKA A DIAGRAM PRUŽINY

Posunutí a natočení od deformace:

$$u = f(k, F [N]) [mm], \varphi = f(k\varphi, M_t [Nmm]) [rad]$$

Tuhost a torzní tuhost:

$$k = dF[N]/du[mm] [N.mm^{-1}], k\varphi = dM_t[Nmm]/d\varphi[rad] [N.mm.rad^{-1}]$$

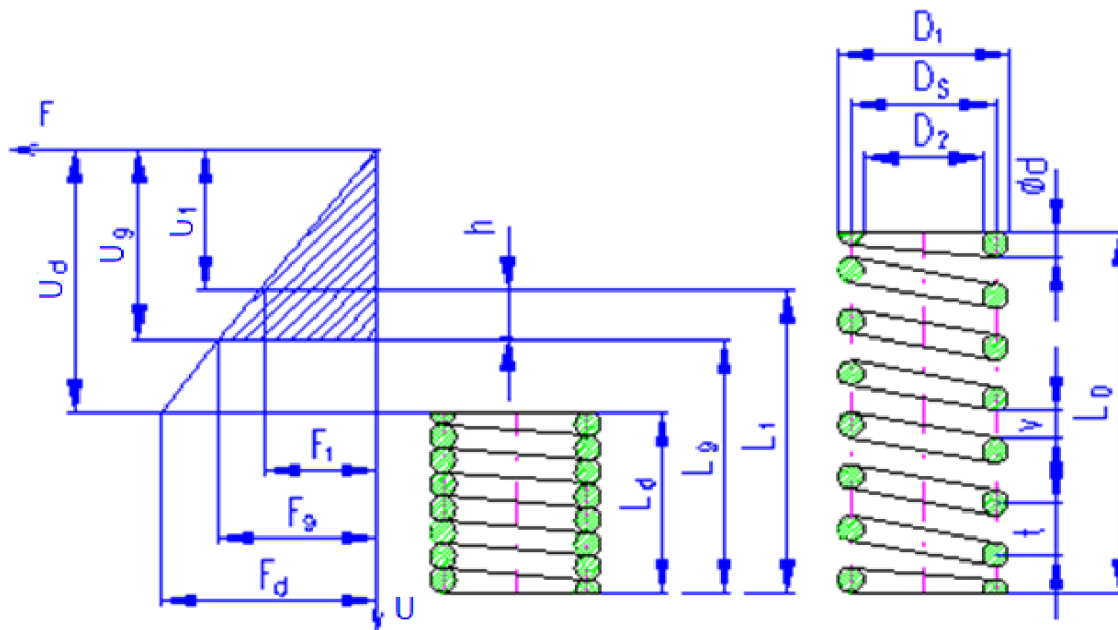
Druhy pracovních charakteristik:

- podle závislosti deformace na zatížení:

- lineární
 - nelineární (spojité i lomené)
 - progresivní
 - degresivní
- podle vnitřních ztrát v pružině:
 - bez hysterese a)
 - s hysterezí b)

Pracovní diagram pružiny

Příklad pro lineární šroubovitou pružinu:



DRUHY MATERIÁLŮ

A) Kovové materiály

Oceli

Pro vysoká namáhání včetně dynamických. Kvalitní tepelně zušlechtnuté oceli s vysokou mezí pružnosti, pevnosti, únavy a vysokou houževnatostí: oceli všech tříd: 11 000 (min 11 800) až 19 000.

Pevnost drátů pro pružiny je zvyšována i jejich mechanickým zpevněním (tažením) při výrobě. Vliv zpevnění je však tím menší, čím je průměr drátu větší.

Při zjišťování pevnosti materiálu drátů je proto nutné vzít v úvahu nejen druh materiálu (včetně jeho tepelného zpracování), ale i průměr drátu (viz následující příklady).

B) Nekovové materiály

Pryže

Pro malá namáhání a speciální požadavky (vysoký vnitřní útlum, elektrická nevodivost, tepelné izolační vlastnosti, apod.)

Nevýhodou je malá odolnost proti nízkým i vysokým teplotám ($-35^{\circ}\text{C} < t < 50^{\circ}\text{C}$), kratší životnost zejména při dynamickém namáhání a malá chemická odolnost proti oleji a benzínu.

Plasty

Pro malá namáhání a speciální požadavky podobně jako pryže, oproti nimž mají větší odolnost při vyšších teplotách ($-40^{\circ}\text{C} < t < 120^{\circ}\text{C}$) a větší chemickou odolnost proti oleji a benzínu.

C) Zvláštní materiály ("media")

Kromě uvedených kovových a nekovových materiálů se jako pružný materiál využívají též kapaliny a plyny uzavřené ve speciálních pružících elementech obvykle s nezbytnou podporou celých hydraulických, příp. i hydropneumatických systémů.

KRITERIA PRO VOLBU MATERIÁLŮ

- druh pružiny (stavební struktura, ...)
- použití pružiny (funkce, parametry, ...)
- namáhání a deformace (druhy, velikosti, ...)
- provozní prostředí (teplota, agresivnost, ...)
- zvláštní požadavky (elektrická vodivost, magnetičnost, ...)

7.1.3. Základní vlastnosti pružných spojů

Vlastnosti akumulátorů mechanické energie se využívají v pohonech a reverzních mechanismech:

- pro zachycování statických i dynamických sil, příp. točivých momentů
- pro změny vlastních frekvencí a tvarů kmitů mechanických soustav
- pro měření a regulaci sil a momentů

Provozní náklady jsou obvykle nulové.

Další provozní, výrobní, časové, nákladové vlastnosti apod. jsou významně ovlivněny konkrétní stavební strukturou pružiny, tj:

- stavebními prvky a jejich uspořádáním
- tvary
- rozměry
- materiály
- druhy výroby
- stavy povrchu
- odchylkami od jmenovitých hodnot v zamontovaném stavu.

7.1.4. Obecné poznatky pro návrh a hodnocení

(pro docílení požadovaných a predikci dosažených reflektivních a reaktivních vlastností)

Vzhledem k relativně malým tuhostem a hmotnostem pružin vůči velkým tuhostem a hmotnostem okolních strojních částí jsou vlastní frekvence těchto kmitavých soustav (zjednodušeně: $\Omega = \sqrt{k/m}$ [rad·s⁻¹]) obecně podstatně nižší než ostatních běžných strojních částí. Z toho pak vyplývá, že pro běžné nízkofrekvenční dynamické provozní zatížení je nutné návrhy a hodnocení pružin řešit též dynamicky a nelze jejich návrh a hodnocení běžně zjednodušovat na statické zatížení zvýšené pouze provozním (dynamickým) součinitelem *cdyn*, jako u ostatních běžných strojních částí.

V některých případech je možné použít zpřesněné postupy jako u hřídelových spojek. Vzhledem k podstatně vyšší variabilitě použití pružin to však je spíše výjimka. Z těchto důvodů jsou dale uváděny pouze poznatky pro návrhy a hodnocení pružin při statickém zatěžování.

Poznatky pro návrhy a hodnocení dynamicky namáhaných pružin je třeba vyhledat ve speciální odborné literatuře.

Poznámky:

- Při návrhu staticky zatěžované pružiny obvykle: *zatížení(max)*, *def(max)* => tvary, rozměry, materiál ...
- Při hodnocení staticky zatěžované pružiny obvykle: bezpečnost, *def(max)* <= *zatížení(max)*, tvary, rozměry, materiál ...

8. Materiálové spoje – svarové, pájené, lepené

8.1. Spoje svary (svarové spoje)

8.1.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivá) nerozebíratelná spojení na principu místního roztavení spojovaných částí za působení tepla anebo tlaku a to bez použití nebo s použitím přídavného materiálu.

8.1.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

ZPŮSOBY VÝROBY (ZHOTOVENÍ) - DRUHY SVAŘOVÁNÍ

A) Tavně: spojení místním roztavením materiálu (spojovaných částí a příp. přídavného materiálu) teplem bez působení tlaku.

Druhy (dle způsobu přívodu tepla)

- elektrickým obloukem: mezi kovovou (střídavý nebo stejnosměrný proud) nebo uhlíkovou (stejnosměrný proud) elektrodou a základním materiálem:
 - ručně s kovovou elektrodou
 - automat. se svařovacím drátem pod tavidlem
 - automat. s wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře
 - automat. s uhlíkovou elektrodou
- plamenem: spalování plynů - acetylén nebo propanbutan a kyslík
- elektrostruskově: bez oblouku - zdrojem tepla proud procházející vodivou struskou a tavným drátem
 - plazmou: dva oblouky - základní a nosný vytvářející plazmu
 - elektron. paprskem: kovy s vysokou teplotou tavení - W, Mo ...

- termitem: směs kysličníku železa s hliníkovým práškem
- slévárensky: tekutý kov - opravy odlitků

B) Tlakově: spojení místním roztavením materiálu (spojovaných částí a příp. přídavného materiálu) teplem při působení tlaku.

Druhy (dle způsobu provedení)

- odporově: roztavení el. proudem o nízkém napětí a vysoké intenzitě
 - stykově: odtavováním nebo pēchováním
 - bodově: dvě, obvykle vodou chlazené elektrody (tenké plechy).
 - švově: mezi dvěma kotoučovými elektrodami, nebo kotouč. elektroda proti součásti (pro těsné nádoby).
 - výstupkově: jedna součást - výstupky. Sevře se mezi ploché elektrody (hromadná výroba, jinak nákladné).
- třením (suchém): roztavení třením (pro rotační součásti).
- indukčně: roztavení indukovaným proudem (pro výrobu švových trubek).
- ultrazvukem: roztavení vysokým kmitočtem.
- výbuchem: výbušninou, jiskrovým výbojem, magnetickou vlnou.

Dále jsou převážně uvažovány pouze běžnější spoje tavnými svary.

DRUHY SVAROVÝCH SPOJŮ (DRUHY SVARŮ)

Druhy dle tvaru příčného řezu

Dáno normami: ČSN 05 0025 ÷ 05 0028
ČSN 13 1075 (pro potrubí)

SPOJOVANÉ A PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

A) Spojované materiály

Základní pravidlo:

Používat jen materiály se zaručenou nebo podmíněně zaručenou svařitelností (uvedeno v normách jakosti ocelí (materiálové listy) ČSN 41 0000 ÷ 41 9858).

Stupně svařitelnosti

zaručená (vždy)	1a	pouze $t > 0^{\circ} \text{C}$	i dynamicky namáhané svary
zaručená podmíněně	1b	za urč. podm. zaruč.	staticky namáhané svary
dobrá	2	nezaručuje, ale lze	podřadné svary
obtížná	3	nevyhovující svary	nedoporučuje se

Poznámky k jednotlivým druhům materiálů:

- obecně pro oceli: pro svař. el. obloukem $C \leq 0,2\%$, $P, S \leq 0,1\%$
- oceli tříd 10 -17 : speciální druhy se zaruč svařit. (v tab.)
- kalitelné oceli: obtížná svař. (musí se předeřhřívát)
- oceli na odlitky (vyšší C): obtížná svař. (vznik trhlin)
- šedá litina (vyšší C): obtížná svař. (předeřhř. na 650°C)
- temper litiny (422530,35,40): dobrá svař.
- neželezné kovy : obtížná svař. (vysoká tepelná vodivost (mědi, bronzu, mosazi) a nízká teplota tavení)

B) Přídavné materiály

Druhy (podle tvaru a úpravy)

- obalené elektrody: pro ruční obloukové svařování
 - podle druhu svař. materiálu
 - podle druhu obalu (zásaditý, kyselý,)
 - podle průměru : (1,6 ÷ 8) a délky: (200 ÷ 500)
- holé dráty: pro svař. bez přístupu vzduchu (pod tavidlem nebo v ochranném plynu)
 - podle druhu svař. materiálu
 - podle průměru: (1,6 ÷ 5) v metrových délkách
- tyčinky
 - podle průměru: (5 ÷ 20)

8.1.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos všech druhů zatížení.

- Nerozebíratelnost.
- Spolehlivost ovlivněna náchylností na vnitřní pnutí a vrubové účinky.

Výroba, montáž

- Značná náročnost na provedení.
- Umožnění výroby i velkých strojů i jejich částí (co nelze pomocí odlitků a výkovků).

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh i výroba (zhotovení).
- U složitějších výrobků nutné žíhání nebo "stárnutí" pro odstranění vnitřních pnutí (lze i pomocí vibrací), což výrobní čas prodlužuje.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- V kusové výrobě levnější než odlitky, výkovky apod. (úspora materiálu a nižší pracnost), avšak odstraňování vnitřních pnutí u složitějších svařenců náklady zvyšuje.
- Provozní náklady nulové, pokud není na závadu nerozebíratelnost spojení.
- Značné náklady na "demontáž" (pálení plemenem, apod.).

8.2. Spoje pájkou (pájené spoje)

8.2.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivá) nerozebíratelná spojení dvou (zpravidla) kovových částí pomocí kovu, který je při spojování roztaven a difúzí přilne ke spojovaným částem, aniž by se zpravidla roztavily.

Pájené spoje se využívají v řadě průmyslových odvětví (přesná mechanika, zlatnictví, instalatérství, konzervárenství, stavba vozidel, apod.).

8.2.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

ZPŮSOBY VÝROBY (ZHOTOVENÍ)

Podle teploty tavení (vždy menší než teplota tavení spoj. částí)

- měkkým pájením (do 450° C)
- tvrdým pájením (nad 450° C)

Příprava kovově čistého povrchu

- mechanicky (oškrabání, kartáčování)
- ultrazvukem
- chemicky (působením tavidla)

Ohřátí na potřebnou teplotu

- místně (el. pájedlem, páj. lampou, hořákem, elektricky odporově nebo vysokofrekvenčně, apod.)
- celkově (v peci ochrannou atmosférou, vysokofrekvenčně ve vakuu, ponořením do taveniny solí, roztavenou pájkou)

SPOJOVANÉ MATERIÁLY, PÁJKY A TAVIDLA

A) Měkké pájení

Spojované materiály:

- měď, zinek, ocel, olovo a jejich slitiny (norm.)
- šedá litina, hliník, sklo, kovokeramické slitiny (spec.)

Pájky: (ČSN 05 5612 ÷ 50)

- cínové
- zvláštní

Tavidla:

- pryskyřice, lůj, stearin, kalafuna (nedostačující na oxidy)
- chloridy (způsobují však korozi)

B) Tvrdé pájení

Spojované materiály:

- ocel, šedá litiny
- měď, nikl a jejich slitiny

Pájky:

- mosazné (ČSN 05 5680 ÷ 86)
- stříbrné (ČSN 05 5660 ÷ 76)
- na hliník (ČSN 05 5700 ÷ 80)

Tavidla: (ČSN 05 5700 ÷ 80)

- borax, kyselina boritá
- chloridy, soda, potaš, kysličník křemičitý

TVARY PÁJENÝCH SPOJŮ

Základní případy:

- natupo
- se šikmou plochou
- s vyhnutým plechem
- s přeplátováním

- se stykovým členem

8.2.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos všech druhů relativně malých zatížení, nejvhodněji při namáhání smykem.
- Měkké pájení zejména pro spoje kde je žádána těsnost, příp. vodivost při nepřítli velké pevnosti spoje a tam, kde nelze materiály ohřívat na vyšší teploty.
- Tvrdé pájení zejména je-li žádána vyšší pevnost, houževnatost, odolnost proti únavě a korozi za vyšších teplot než při měkkém pájení.
- S použitím tepla možné opravovat.

Výroba, montáž

- Značná náročnost na provedení (očištění povrchů, malá a rovnoměrná spára, rovnoměrná prohřátí na potřebnou teplotu).

Ostatní hlediska

- Odmašťovadla a tavidla mohou být hygienicky a alergicky nevhodná
- Prakticky nemožná recyklace

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh i výroba (zhotovení)

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Relativně levné při malých sériích.
- Provozní náklady nulové, pokud není na závadu nerozebíratelnost spojení.
- Znehodnocení pájek při likvidaci.

8.3. Spoje lepidlem (lepené spoje)

8.3.1. Charakteristika (konstrukční znakové vlastnosti)

Pevná (tj. nepohyblivá) spojení pomocí přídavného tekutého materiálu (lepidla), který při tuhnutí přilne adhezí (v tenké vrstvě okolo 0,1 mm) ke spojovaným částem.

Lepené spoje se využívají zejména tam, kde nevyhovují nebo nejsou možné klasické způsoby spojení. S výhodou se využívají též při opravách strojů.

8.3.2. Stavební struktura (elementární konstrukční vlastnosti)

ZPŮSOBY VÝROBY (ZHOTOVENÍ)

Podle teploty a tlaku potřebných pro ztuhnutí lepidla:

- při normální teplotě okolo 20° C
- při zvýšené teplotě 20° ÷ 200° C
- při vysoké teplotě okolo 200° C
- při vysoké teplotě okolo 200° C a při tlaku
- Příprava čistého povrchu:
 - mechanicky
 - chemicky
 - od nečistot, tuků, oxidů.

SPOJOVANÉ MATERIÁLY A LEPIDLA

Druhy spojovaných materiálů:

- **Kovové:** v letectví i všeob. strojírenství pro spojování plechů, nádrží, rámců potrubí, nábojů na hřídeli, ap.
- **Nekovové:** ve všech oblastech pro spojování částí ze dřeva, PVC, keramiky, termosetů, skla, ap.

Druh	teplota tuhnutí	tlak při tuhnutí	pevnost τ_{Pt} [MPa]
Polyester	norm.	ne	až 20
Polyvinylacetát	norm.– zvýš.	ne	až 30
Epoxid. pryskyřice	norm.– zvýš.	ne	až 30
Syntetický kaučuk	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolové pryskyřice	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolformaldehyd	zvýš.– vysoká	ano	až 30

Volba

- druh a rozměry spojovaných materiálů.
- způsob (tah, smyk, ohyb) a druh (stat., dyn.) zatížení.
- provozní teplota a chem. vlivy prostředí.

TVARY LEPENÝCH SPOJŮ

Základní případy:

- natupo: nevhodné
- se šikmou plochou: lepší
- s přeplátováním: vhodné
- se stykovými členy: vhodné
- s úpravami ploch: velmi dobré, ale drahé

8.3.3. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Vhodnost pro přenos relativně malých zatížení při namáhání smykem, přičemž je zajištěna (u dostatečně tuhých spojovaných částí) vysoká rovnoměrnost rozdělení zatížení. (v porovnání s nýtovanými, příp. svařovanými spoji).
- Vhodnost pro spoje vyžadující těsnost.
- Vhodnost pro spoje vyžadující elektrickou izolaci.
- Vhodnost pro spoje vyžadující útlum chvění a hluku.
- Nevhodnost pro normální a dynamická zatížení.
- Nevhodnost pro vyšší provozní teploty.
- Nevhodnost do agresivního prostředí.
- Nevyžadují údržbu, avšak nelze je demontovat.

Výroba, montáž

- Vhodnost pro spojování materiálů, které nelze ohřívat.
- Vhodnost pro spojování nesvařitelných materiálů.
- Vhodnost pro spojování tenkých plechů, které nelze nýtovat ani svařovat.
- Vhodnost pro spojování materiálů zcela odlišných vlastností.
- Jednoduchost výroby přípojovacích tvarů na součástech.
- Relativní náročnost na přípravu (očištění povrchů).
- Při lepení za tepla a tlaku náročnost na potřebné technické prostředky.

Ostatní hlediska

- Odmašťovadla a lepidla mohou být hygienicky a ekologicky nevhodná.
- Prakticky nemožná recyklace.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Rychlý návrh.
- Jednoduchá stavební struktura zrychluje výrobu spojovaných částí.
- Doba tuhnutí může prodlužovat dobu výroby (od několika vteřin do několika hodin).

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Jednoduchá stavební struktura snižuje náklady na pracnost a materiál.
- Případné speciální technické prostředky pro vytvrzování za tepla, vyžaduje přídatné náklady.
- Provozní náklady nulové, pokud není na závadu nerozebíratelnost spojení.

9. Dynamické (proměnlivé) zatěžování a namáhání strojních částí TS - dynamická (únavová) pevnost

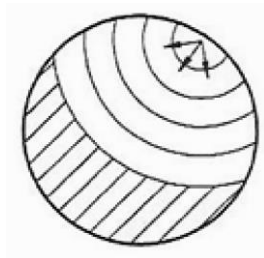
9.1. Základní poznatky

Projevy dynamického (proměnlivého) zatížení na pevnost strojních částí:

- porušení součástí i při napětích $\sigma \ll \sigma_D$
- křehké lomy součástí i z houževnatých materiál

Příklad typického lomu strojní části (hřídele, čepu apod.) způsobeného únavovým porušením

(horní část řezu znázorňuje vyhlazenou počáteční plochu porušení způsobeného únavou materiálu, dolní vyšrafovaná část znázorňuje konečný klasický zrnitý statický lom)



Vznik dynamického zatížení a napětí:

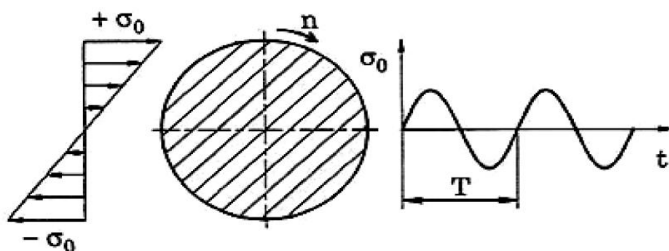
a) změnami vnějšího zatížení:

Příklad: $M_o = M_{o\max} \cdot \sin(\omega \cdot t), n=0$

b) změnami polohy součásti vůči konstantnímu (neproměnnému) zatížení:

Příklad: $M_o = M_{o\max} \cdot \cos(n \cdot t), n \neq 0$

Vznik dynamického zatížení otáčením součásti vůči vnějšímu statickém (ustálenému) zatížení

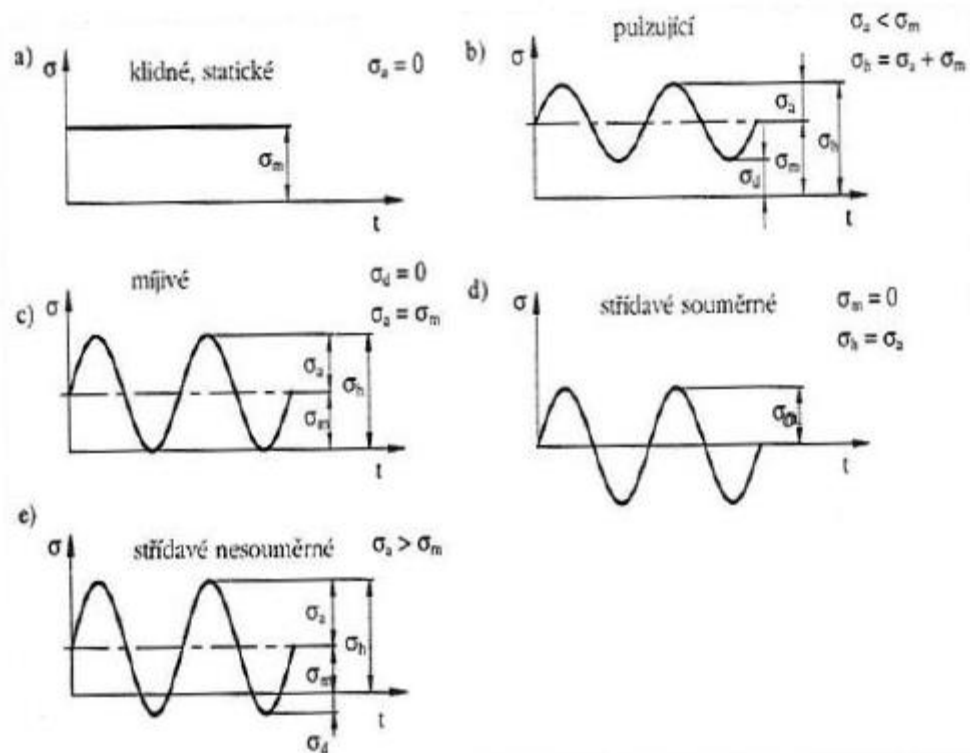


Průběhy proměnlivého zatížení a napětí:

- obecný průběh:
 - stochastický
 - periodický

- harmonický průběh:

- sinový/cosinový s jednou příp. i více harmonickými složkami (je obvyklé i jako ekvivalentní náhrada obecného periodického průběhu pro výpočty a experimenty)



Diagramy průběhu typických druhů harmonického napětí

kde:

- m - střední napětí kmitu,
- a - napětí amplitudy kmitu,
- h - horní napětí kmitu,
- d - dolní napětí kmitu

Životnost (trvanlivost) strojní části při harmonickém napětí:

Životnost (trvanlivost) součásti se udává počtem kmitů N , při němž dojde k jejímu únavovému porušení.

9.2. Mez únavy materiálu

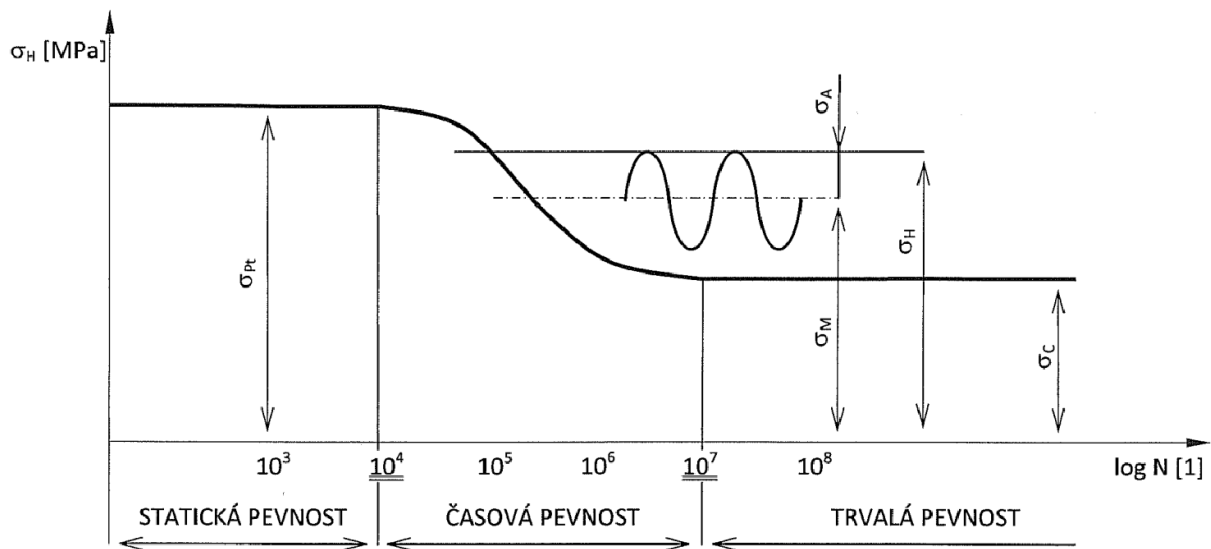
Časová mez únavy (časová pevnost na únavu pro obecnou strojní část):

$\sigma N = \sigma M + \sigma A N$... kmitavé napětí ($\sigma M, \sigma A$), při němž je životnost v uvažovaném místě

strojní části N cyklů

Mez únavy („trvalá“ pevnost na únavu pro obecnou strojní část):

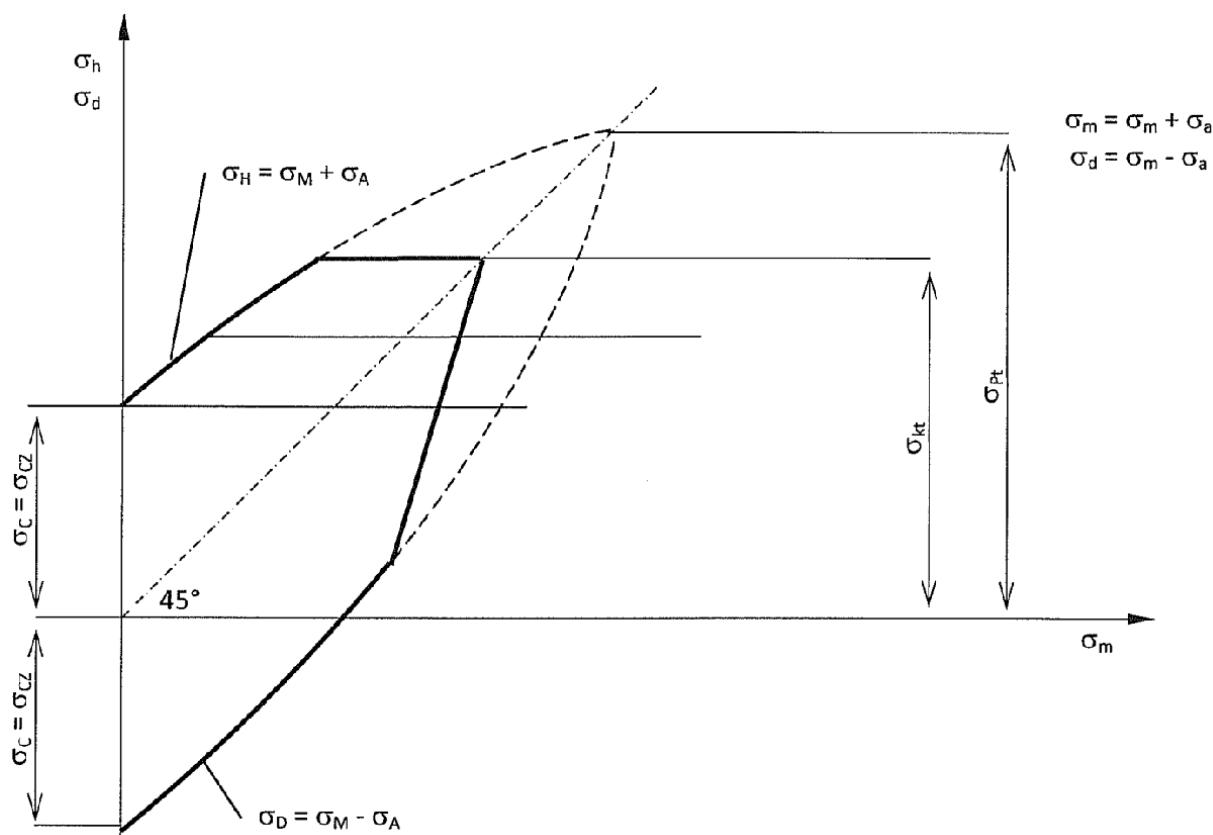
$\sigma_C = \sigma_M + \sigma_A N^m$... pulzující harmonické napětí, ($\sigma_M \neq 0$, $\sigma_A \neq 0$, tj. $\sigma_H = \sigma_M + \sigma_A$)
při němž je životnost uvažovaném místě strojní části $N = \sigma$ cyklů



9.3. Mez únavy materiálu při obecném harmonicky proměnlivém napětí

Základní Smithův diagram:

Smithův diagram vymezuje svými čarami mezní velikosti parametrů harmonického napětí, tj. dvojic mezního středního napětí kmitu a mezního napětí amplitudy kmitu, při nichž dochází k únavovým lomům hladké leštěné tyče (obecně určitého místa na obecné strojní části). Diagram je nutné experimentálně zjišťovat pro každý druh materiálu (i místo na strojní části) samostatně.



9.4. Faktory ovlivňující mez únavy materiálu

$\sigma_C = \sigma_{CZ}$... (základní) mez únavy pro hladkou leštěnou tyč

$\sigma_{C^*} = \sigma_{CZ^*}$... snížená (základní) mez únavy pro místo na součásti (tj. ne pro součást jako celek!!!) vlivem faktorů uvedených

9.4.1. Vliv vrubu - součinitele vrubu β

Vruby jsou náhlé změny tvaru na součástech, které vyvolávají lokální zvýšení (koncentraci) „řádného“

napětí v daném místě, což způsobuje:

- snížení pevnosti
- snížení houževnatosti materiálu

9.4.2. Vliv velikosti součásti - součinitel velikosti součásti v

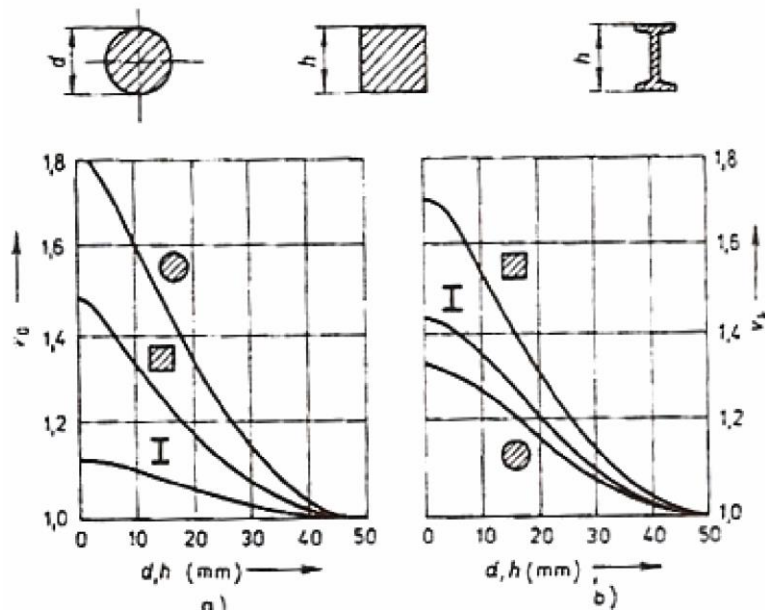
Pro základní druhy napětí analogicky platí:

$\sigma_{C^*} = v \cdot \sigma_C$... pro tah – tlak

$\sigma_{Co^*} = v \cdot \sigma_{Co}$... pro ohyb

$\tau_{Ck^*} = v_k \cdot \tau_{Ck}$... pro krut

Příklad diagramů pro stanovení hodnoty součinitele velikosti součásti v



9.4.3. Vliv jakosti povrchu - součinitel jakosti povrchu η_P

$\sigma C^* = \eta_P \cdot \sigma C$... pro tah - tlak

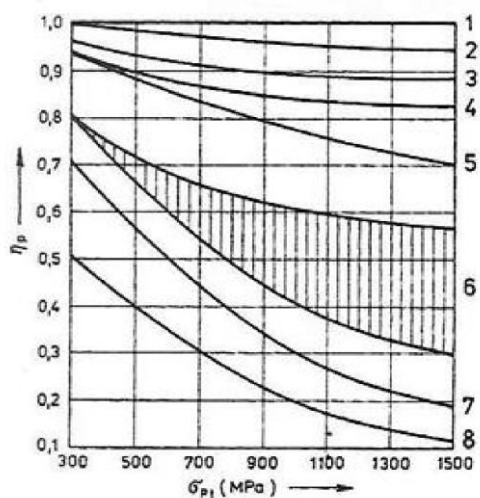
$\sigma C_{o^*} = \eta_{Po} \cdot \sigma C_o$... pro ohyb

$\tau C k^* = \eta_{Pk} \cdot \tau C k$... pro krut

$\eta_{Po} = \eta_P$

$\eta_{Pk} = 0,5 \cdot (1 + \eta_P)$

Diagram pro stanovení hodnoty součinitele kvality povrchu η_P



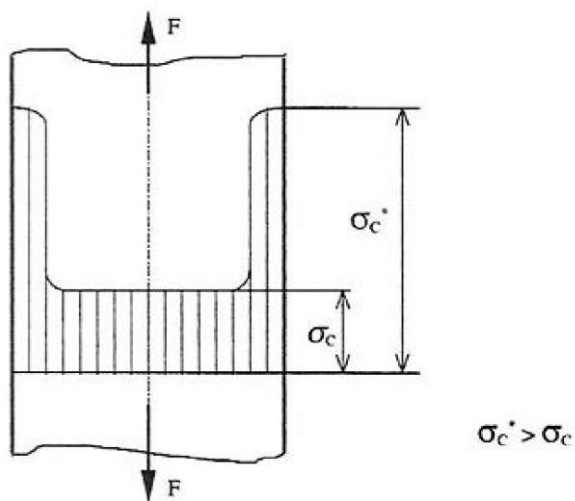
9.4.4. Vliv zpevnění povrchu - součinitel zpevnění povrchu k

$\sigma_{C*} = k \cdot \sigma_C$... pro tah - tlak

$\sigma_{Co*} = k_o \cdot \sigma_{Co}$... pro ohyb

$\tau_{Ck*} = k_k \cdot \tau_{Ck}$... pro krut

Vliv zpevnění povrchu součásti na zvýšení meze únavy při jejím povrchu (kritickém pro únavové poruchy)



Hodnoty součinitelů k pro jednotlivé druhy namáhání a typické druhy zpevňování je nutné vyhledat ve speciální odborné literatuře. Pro rozhodující většinu nezpevňovaných povrchů však:

$$k = k_o = k_k = 1$$

10. Hřídele

Hřídel je strojní součást válcovitého tvaru sloužící k převodu otáčivého pohybu a mechanické práce. Na hřídeli mohou být nasazeny ozubená kola, řetězová kola, řemenice, kladky, pojezdová kola, spojky, brzdy zdrže a jiné rotační i nerotační části, např. vačky. Podle funkce a namáhání můžeme hřídele rozdělit do dvou skupin, a to na hřídele nosné a hřídele hybné.

Nosné hřídele

Nosné hřídele nepřenášejí žádný točivý moment (výkon). Jsou namáhány pouze na ohyb. Nosné hřídele nesou ozubená kola, řemenice, pojezdová kola a jiné rotační strojní součásti, které jsou na nich uloženy buď otočně, nebo pevně. Typickými představiteli nosných hřídelí jsou nápravy železničních strojů.

Hybné hřídele

Hybné hřídele, jinak se jim také říká pohybové. Používají se mnohem častěji než hřídele nosné. Jsou namáhány především kroutícím momentem, který přenášejí z místa pohonu k místu pracovnímu. Na rozdíl od hřídelí nosných jsou hybné namáhány kombinací ohybu a krutu. Hřídele jsou otočně upevněny v ložiskách. Typickým představitelem hybných hřídelí jsou hřídele v převodových skříních, to jsou všechny hřídele, které jsou nuceně poháněny.

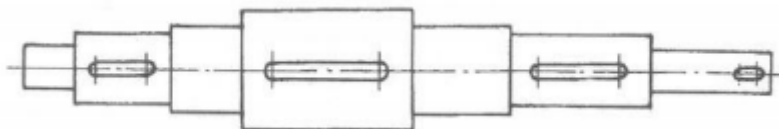
10.1. Druhy hybných hřídelí

Podle způsobu použití a tvaru dělíme hybné hřídele na:

- Normální
- Duté
- Drážkové
- Klikové
- Ohebné

Normální hybná hřídel

Vyrábí se soustružením, protože namáhání hřídele se po jeho délce mění, mění se obvykle i jeho průměr. Nejméně jsou namáhány koncové části hřídelů, proto bývá jejich průměr nejmenší. Změnou průměrů hřídele vznikají různá osazení, která usnadňují nasazení rotačních částí na hřídel.



Dutá hybná hřídel

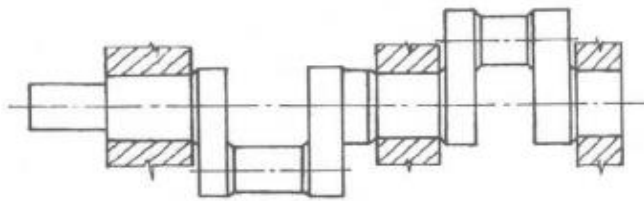
Využívá mnohem ekonomičtěji materiál. Při stejné hmotnosti je schopen přenášet větší silová zatížení než hřídel plný. Je to dáno tím, že při namáhání na krut a ohyb je střední část hřídele namáhána mnohem méně než jeho vnější část.

Drážková hřídel

Má na svém obvodě provedeny podélné drážky, čím se vlastně vytvoří na povrchu hřídele několik per. Drážkový hřídel tedy plní stejnou funkci jako perový spoj. Používá se hlavně tam, kde potřebujeme zajistit možnost axiálního posuvu rotačních částí na hřídeli umístěných nejčastěji ozubených kol.

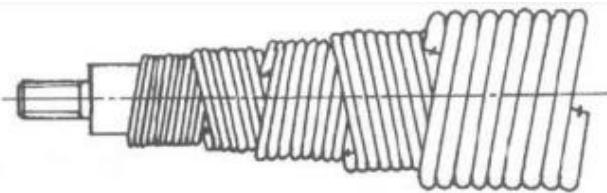
Kliková hřídel

Je součástí klikového ústrojí měnící přímočarý vratný pohyb na otáčivý a naopak. Klikové hřídele se vyrábějí z kovaných polotovarů a pak se dokončují na obráběcích strojích.

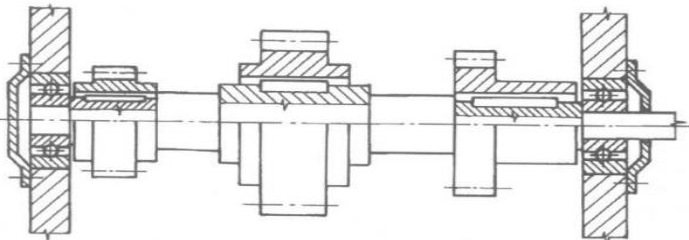


Ohebná hřídel

Používá se tam, kde je třeba v průběhu práce měnit polohu hřídele hnacího vzhledem k hnanému přímo za rotace. Aby měl hřídel potřebnou ohebnost, zhotovuje se z drátu navinutého v několika vrstvách na sobě. Jednotlivé vrstvy jsou vinuty v opačném směru, aby hřídel neměl tendenci se rozmotávat. Např. ruční bruska



Uložení pohybových hřídelů



Příklad uložení pohybového hřídele na dvou valivých kuličkových ložiskách.

11. Kluzná ložiska

11.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Otočná uložení na principu plošného dotyku s kluzným třením (rozdílného druhu).

Poznámky:

- Druhy kluzného tření (podle intenzity mazání):
 - suché tření: bez maziva, příp. s tuhým mazivem (grafit, apod.), třecí plochy se plně dotýkají
 - mezné tření: při nedostatečné vrstvě maziva, třecí plochy se zčásti dotýkají
 - tekutinové tření: dostatečná vrstva maziva (kapalina, plyn, příp. plast. mazivo), třecí plochy se nedotýkají
- Průvodním jevem tření je opotřebení kluzných ploch závisující na úrovni mazání.

11.2. Uložení s hydrodynamickými ložisky

11.2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Kluzná otočná uložení (ložiska), u nichž vrstva maziva (tzv. hydrodynamický klín) vzniká při relativním pohybu kluzných ploch (vytvářejících klínovou mezeru). Při rozběhu a doběhu proto vzniká tzv. mezné tření s počátkem, příp. koncem pohybu za suchého tření.

TVARY, ROZMĚRY, DRSNOSTI POVRCHU A TOLERANCE

A) Kluzné plochy

Geometrický tvar

- Dociluje se obrobením načisto (vyvrtáváním, soustružením., broušením) bez dodatečného zaškrabávání (zhoršuje geometrický tvar).

- Při vyšších parametrech: předepsána přesnost geometrického tvaru.

Drsnost povrchu

provozní podmínky drsnost Ra: čepu ložiska [μm]

- vysoké parametry 0,2 0,4
- parametry 0,4 0,8
- nízké parametry 0,8 1,6

Tolerance

- U radiálních kluzných ložisek třída přesnosti IT5 ÷ IT7

B) Přívod maziva

Tvary a rozměry:

- mazací otvory, drážky, kapsy dle ČSN 01 5906 (vždy mělké se zaoblenými tvary)

Poloha mazacích drážek u rad. ložisek:

- v nezátížené oblasti (kolmo na směr pohybu, nikdy až ke krajům)

C) Pouzdra a pánve (komponenty rad. ložisek)

Poznámky:

- Pouzdro: vložka kluzného ložiska ve tvaru dutého válce.
- Pánev: část děleného pouzdra, příp. celé, avšak dělené pouzdro.

11.2.2. Druhy pouzder a pánví:

- dle tloušťky pouzdra/pánve s vůči průměru čepu d:
 - tenkostěnné: tloušťka s ($0,02 \div 0,1$) d
(*obrábí se načisto již před zamontováním - přesnost závisí na přesnosti vývrtu v ložiskovém tělese*)
 - silnostěnné: tloušťka s ($0,1 \div 0,2$) d
(*obrábí se: načisto tak jako tenkostěnné, nebo s přídavkem na dodatečné obrobení*)
- dle počtu vrstev:

- jednovrstvé ("masivní"): z ložiskových materiálů, jen výjimečně (je to nákladné)
- dvouvrstvé ("bimetalické"): s výstelkou z ložiskových materiálů (tloušťka $s_{výst}$ 0,2 mm), s klesající tloušťkou výstelky životnost ložiska stoupá
- třívrstvé: s další galvanicky nanášenou vrstvou z měkké kompozice ($P_b - S_m$ apod.), která umožňuje použití i netvrzených čepů.

Uložení pouzder a pánví (v tělese ložiska)

S přesahem, který musí zajistit spolehlivé přenesení třecího momentu v ložisku (pomocné jazýčky, kolíky, ap. slouží pouze k zajištění správné polohy při montáži).

Obvykle uložení: H7/p6, H7/r6, H7/s6 (u tenkostěnných se však udává mírou na obvodu).

11.2.3. Druhy ložiskových materiálů

Třída materiálů $\rho \cdot v$ [MPa · m · s⁻¹]

- slitiny cínu a olova (kompozice) 20 ÷ 100
- slitiny mědi s cínem, olovem, ap. (bronzu) 20 ÷ 100
- slitiny hliníku 20 ÷ 100
- další kovy (šedá litina, pórovité kovy) 10
- plasty 10 ÷ 30
- další nekovové materiály (grafit, pryž, dřevo)

Volba ložiskového materiálu

Volba ložiskového materiálu je spolu s konstrukčním uspořádáním a vlastnostmi maziva klíčová pro spolehlivost a životnost ložiska.

Hlavní kritéria:

- **Vnější vlastnosti ložiska (požadované):**
 - druh a velikost zatížení, kluzná rychlost, životnost
 - provozní teplota, druh maziva a okolní prostředí
 - cena
- **Konstrukční vlastnosti ložiska (navrhované):**
 - druh a tvrdost materiálu čepu (min o 100 HB vyšší než tvrdost ložiskového materiálu)

- drsnosti kluzných ploch (dle výše uvedeného doporučení)
- druh a množství maziva (dostatečné množství kvalitního maziva (bez nečistot) - s výjimkou bezmazných a samomazných ložisek)
- **Kluzné, mechanické a fyzikální vlastnosti ložiskových materiálů ("volené"):**
 - odolnost proti zadírání (kompatibilita s mater. čepu), přizpůsobivost a jímavost tvrdých částic,
 - součinitel tření.
 - zatížitelnost (charakterizovaná součinem $p \cdot v$), únavová pevnost, ...
 - korozivzdornost, otěruvzdornost, tvrdost, ...

11.2.4. Reflektivní vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Zachycování radiálních nebo axiálních posuvů a sil, zajištění obou funkcí lze však konstrukčně řešit v jednom stavebním celku (viz výše)
- Jsou vhodná i pro rázová a dynamická zatížení (vysoký útlum)
- Velmi klidný a tichý chod bez vibrací
- Vůle v ložisku ("naplávání") mohou být na závadu
- Vhodné především pro trvalý provoz (na začátku a na konci pohybu se nevytváří hydrodynamická vrstva maziva - suché a mezní tření s vysokým opotřebením, lze zlepšit tlakovým mazáním, ale dražší)
- Větší šířka než u valivých ložisek
- Menší vnější průměr než u valivých ložisek
- Jednoduchost demontáže ovlivněna konstrukcí tělesa uložení
- Větší nároky na údržbu a čistotu (mazání a čistota oleje)

Výroba, montáž

- Vysoké požadavky na přesnost výroby a čistotu prostředí
- Jednoduchost montáže ovlivněna konstrukcí nosné části

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně časově náročný návrh, výroba, údržba, opravy apod.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Relativně nákladné uložení na návrh i výrobu
- Relativně nákladný provoz, údržba i opravy

12. Valivá ložiska

12.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Otočná uložení na principu valivého dotyku s valivým třením obvykle s použitím samostatně vyráběného komponentu - valivého ložiska.

TVARY (DRUHY/TYPY) VALIVÝCH LOŽISEK (ČSN 02 4629)

Podle směru zachycovaných sil (a pohybů)

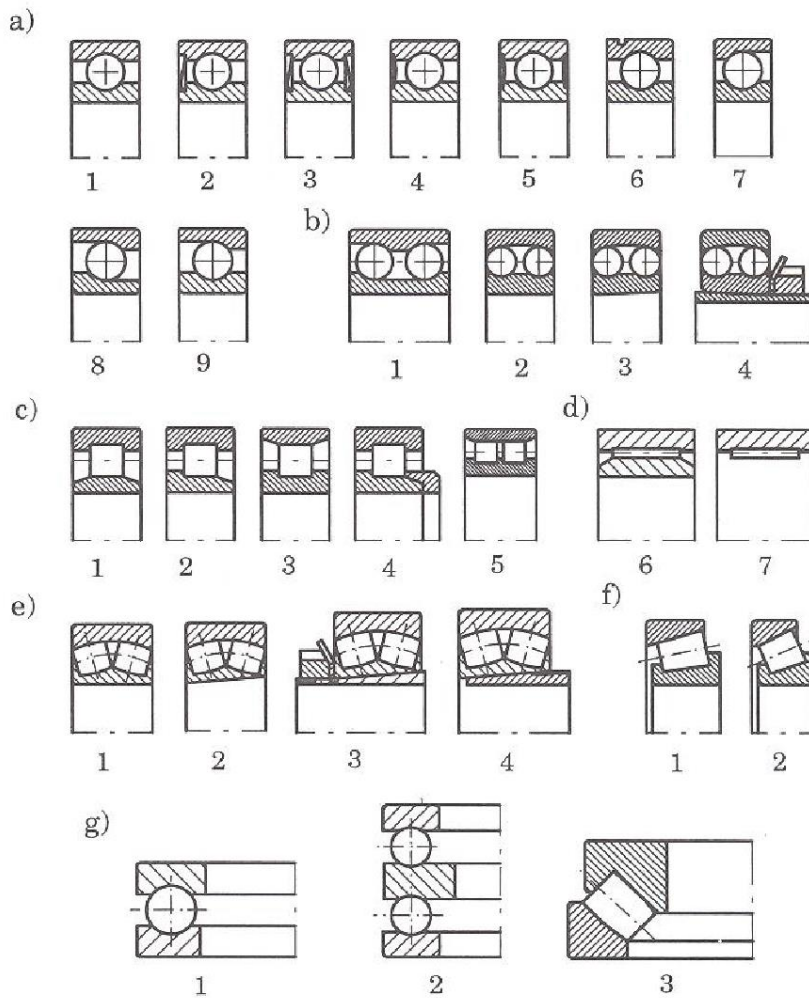
- radiální (vnější a vnitřní kroužek, klec, val. tělesa)
- axiální (kroužky, klec, valivá tělesa)

Podle konstrukce (základem je tvar valivých těles)

A) Standardní ložiska

- Jednořadá kuličková a)
 - čistě radiální 1 ÷ 6
 - s kosoúhlým stykem 7 ÷ 9
- Dvouřadá kuličková b)
 - s kosoúhlým stykem 1
 - naklápěcí 2 ÷ 4
- Válečková ložiska c)
 - Jednořadá (NU, NJ, N) 1 ÷ 4
 - dvouřadá (NN s kuželovou dírou) 5
- Jehlová ložiska d)
 - jednořadá 1
 - jednořadá bez vnitř. kroužku 2
- Dvouřadá soudečková e) ... 1 ÷ 4
- Kuželíková ložiska f)1 ÷ 2
- Axiální ložiska g)
 - kuličková jednosměrná 1
 - kuličková obousměrná 2

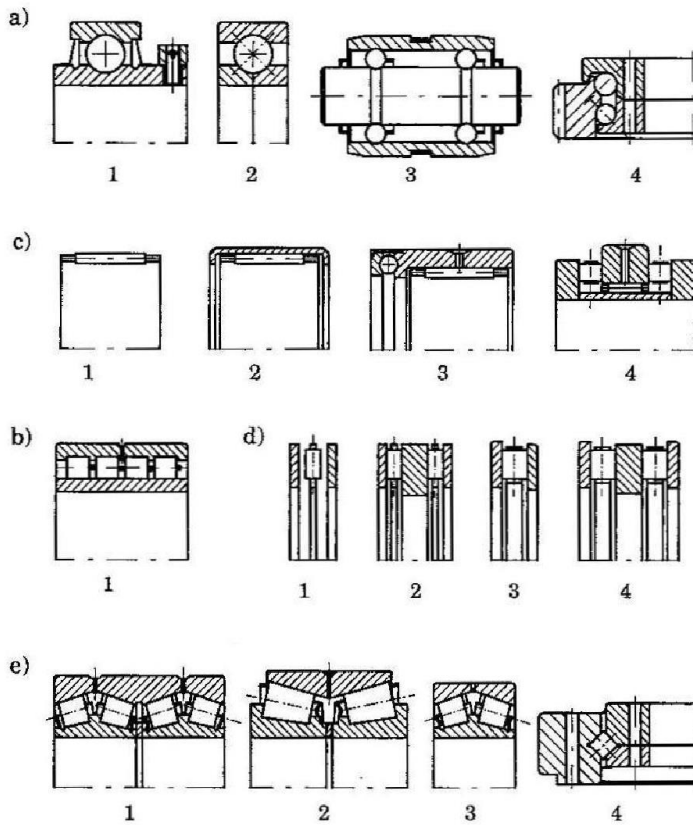
- soudečková 3



B) Speciální ložiska

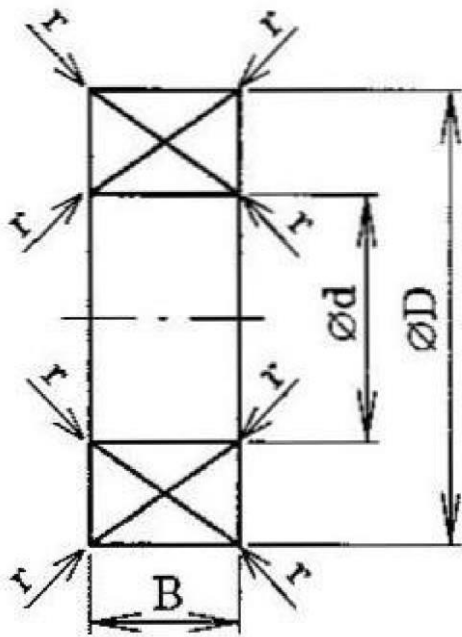
- Kuličková a)
 - se čtyřbodovým stykem 2
- Válečková b)
 - víceřadá 1
- Jehlová c)
 - klec s jehlami 1
 - pouzdro s jehlami 2
- Axiální d)
 - jehlová 1 a 2
 - válečková 3 a 4

- Kuželíková e)
 - víceřadá 1, 2, 3
 - křížová 4



12.2. Rozměry valivých ložisek (ČSN 02 4629)

Základní rozměry:



$\varnothing d$... vnitřní průměr
 $\varnothing D$... vnější průměr
 B ... šířka
 r ... poloměr zaoblení

Rozměrové řady

Jednotlivé typy ložisek v rozměrových řadách: $d \Rightarrow D, B, \dots \Rightarrow$

Poznámky:

- pro d : 20 ÷ 480 mm:
 $d = (\text{poslední dvojčíslí označení dle ČSN}) \times 5$
 např.: 6220 $\Rightarrow d = 20 \times 5 = 100 \text{ mm}$

PŘESNOST ROZMĚRŮ A CHODU VAL. LOŽISEK

(ČSN 02 4612) - (ČSN ISO 492)

Tolerance:

- rozměrů
- házení při otáčení:
 - radiální pro rad. ložiska
 - axiální pro ax. ložiska

PŘESNOST ROZMĚRŮ A CHODU VALIVÝCH LOŽISEK

(ČSN 02 4612) - (ČSN ISO 492)

Tolerance:

- rozměrů
- házení při otáčení:
 - radiální pro rad. ložiska
 - axiální pro ax. ložiska

ULOŽENÍ VALIVÝCH LOŽISEK

Důležité pro trvanlivost valivého ložiska.

Faktory ovlivňující volbu uložení:

- velikost a způsob zatížení
- materiál a tuhost uložených částí
- tepelné poměry v ložisku
- dilatace uložených částí
- požadavky na přesnost
- požadavky na montáž a demontáž

Pravidla a doporučená uložení:

- Kroužek otáčející se vůči směru působícího zatížení (obvodové zatížení) musí být uložen pevně (aby se neodvaloval):
 $(J7, K7)/j6, k6$
(díra pro vnější kroužek - častější případ / čep pro vnitřní kroužek - častější případ)
- Kroužek neotáčející se vůči směru zatížení může být uložen volně (bodové zatížení)
 $H7, H8 (G7)/(h6, g6)$
(díra pro vnější kroužek - častější případ / čep pro vnitřní kroužek)

12.3. Materiály valivých ložisek

Kroužky a valivá tělesa

Vysoké nároky (lokální střídavé napětí), proto kromě vysoké statické pevnosti a přesného složení též vysoké nároky na homogenitu.

Obvykle: chromové oceli tř. 14, kalené a popouštěné na min. tvrdost 59 HRC

Klece

Obvykle lisovány z ocelového plechu.

Kvalitnější ložiska mají mosazné klece, resp. klece z keramických materiálů.

12.4. Vlastnosti

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Zachycování radiálních a axiálních posuvů a sil podle druhu použitého ložiska a jeho uložení na/v obou částech stroje (obvykle na hřídeli a ve skříni) a to i při vysokých otáčkách a teplotách.
- Nejsou vhodná pro rázová zatížení.
- Vůle v ložisku mohou být na závadu.
- Malé ztráty, účinnost η 0,98 .
- Malé podélné rozměry v porovnání s jinými typy uložení.
- Větší průměry v porovnání s jinými typy uložení.
- Jednoduchost výměny ložisek je ovlivněna konstrukcí nosné a uložené části, obvykle jednoduchá.
- Malé nároky na údržbu (mazání tukem, příp. olejem pro mazání ozubení).

Výroba, montáž

- Výroba uložení je poměrně náročná na přesnost, ložiska se nakupují.
- Jednoduchost montáže je ovlivněna konstrukcí nosné a uložené části, obvykle jednoduchá.

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Relativně rychlý návrh, výroba (a nákup), montáž i demontáž.

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Při vhodném návrhu z hlediska výroby relativně levné uložení (výrazně zlevňuje hromadná výroba ložisek).
- Provozní náklady malé (mazání).
- Náklady na demontáž malé.

13. Hřídelové spojky

13.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Strojní části (stavební orgány), jejichž funkcí je umožnit přenos točivého momentu a pohybu mezi dvěma blízkými otočnými částmi technického zařízení (systému), jejichž osy otáčení mohou (obecně) být:

- totožné
- mírně různoběžné
- mírně mimoběžné

Tato funkce je často kombinována s dalšími funkcemi (které pak obvykle bývají hlavními):

- omezit přenášený točivý moment
- tlumit torzní kmity
- umožnit vyrobení rozměrného dílu (jeho rozdělením)
- umožnit montáž a demontáž (zařízení po částech)
- eliminovat změny polohy spojovaných částí (vlivem geometrických nepřesností, poddajností, tepelné roztažnosti, apod.)

Podle principu a způsobu přenosu točivého momentu a otáčení (tj. podle funkčního/pracovního principu a způsobu) lze spojky roztrždit na:

A) Mechanické spojky

- **nerozpojované (za provozu trvale spojené):**
 - (nepružné) pevné (trubkové, korýtkové, přírubové/kotoučové, s čelním ozub.)
 - (nepružné) vyrovnávací (trubkové, kolíkové, ozubcové, s křížovým kotoučem, s klouby, zubové)
 - pružné (kotoučové, s integrovanými pruž. tělesy, s vloženými pruž. tělesy, obroučové a talířové, s kovovými pružinami, membránové)
- **ovládané (mechanicky, hydraulicky, pneumaticky, elektromagneticky), se změnami spojení řízenými z okolí spojky:**
 - zubové (čelní, válcové)
 - třecí (kotoučové/diskové, lamelové)

- **automatické / poloautomatické, se změnami spojení řízenými plně/zčásti spojkou**
 - pojistné (destruktivní, vysmekávací, prokluzovací)
 - rozběhové (práškové, segmentové)
 - volnoběžné (axiální princip, radiální princip)

B) Hydraulické spojky:

- **hydrodynamické**
 - s uzavřeným okruhem (neřízené, samočinně řízené, řízené)
 - s otevřeným okruhem
- **hydrostatické**

C) Elektrické spojky:

- **asynchronní**
 - s vírovou kotvou
 - s klecovou kotvou
- **synchronní**
 - s reluktanční kotvou
 - s buzenou kotvou

D) Magnetické spojky (bez dalšího členění)

Poznámky:

- Uvedené třídění vychází z ČSN 02 6400, u mechanických spojek je však použito upravené výstižnější funkční strukturování a označení.

Podle zabezpečování dílčích funkcí lze na spojce rozlišit (orgány):

- **část hnací** (spojení s hnací částí tech. zařízení)
- **část hnanou** (spojení s hnanou částí tech. zařízení)
- **část spojovací** (spojení mezi hnací a hnanou částí spojky)

Pokud je spojka "symetrická" (rozměrově, hmotnostně, ale zejména "funkčně"), je rozlišení hnací a hnané části stanoveno pouze zvolenou orientací v technickém zařízení. U řady druhů "nesymetrických" spojek je však správná orientace hnací a hnané části spojky (vůči hnací a hnané části technického zařízení) nutnou podmínkou jejich správné funkce.

Poznámky:

- Spojky se pro svoji dobrou typizovatelnost většinou navrhují, vyrábějí a dodávají jako komponenty. Téměř výhradně to platí pro všechny typy mechanických "nemechanicky" (tj. elektromagneticky, hydraulicky a pneumaticky) ovládaných spojek a do značné míry i pro spojky hydraulické, elektrické a magnetické, používaných ve speciálních případech.
- Informace pro použití hromadně vyráběných spojek je nutné vyhledat v katalogu výrobce, příp. ve speciální odborné literatuře. Dále jsou proto uvažovány pouze převážně používané mechanické spojky, přičemž je pozornost soustředěna především na individuálně navrhovatelné a vyrobitelné typy.

13.2. Spojky (nepružné) pevné

13.2.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Spojky na principu pevných spojů zabraňující všem vzájemným pohybům spojovaných otočných částí (obvykle hřídelů).

13.2.2. Reflektivní vlastnosti běžných pevných spojek

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos i periodicky proměnlivých točivých momentů
- Možnost přenosu i ohybových momentů
- Nesouosost spojovaných částí může vyvolat při provozu značná přídatná zatížení vedoucí až k poškození spojky

Výroba, montáž

- Výroba relativně jednoduchá
- Montáž relativně náročná, vždy nutná přesná souosost spojovaných částí,

některé typy navíc vyžadují při montáži možnost axiálního posuvu (alespoň jedné ze) spojovaných částí

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Rychlý návrh a výroba (nákup)
- Montáž a demontáž může být pomalá (náročná)

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Relativně levné spojky
- Náklady na provoz nulové

13.3. Spojky (nepružné) vyrovnávací

13.3.1. Charakteristika (znakové konstrukční vlastnosti)

Spojky na principu (tuhých) kinematických dvojic umožňujících odchylky vzájemné polohy spojovaných částí.

13.3.2. Reflektivní vlastnosti nepružných spojek

UŽITNÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Provoz, údržba, opravy

- Přenos točivého momentu při umožnění axiální, radiální úhlové, příp. i kombinované odchylky os spojovaných otočných částí
- Obvykle vyžadují mazání

Výroba, montáž

- Jednoduchost výroby závisí na typu spojky
- Montáž obvykle relativně jednoduchá

ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Rychlost procesů

- Závisejí na typu spojky, montáž a demontáž obvykle rychlá

NÁKLADOVÉ CHARAKTERISTIKY VLASTNOSTÍ

Hospodárnost procesů

- Výrobní náklady závisejí na typu spojky
- Provozní náklady dány nutností údržby, zejména mazání

Poznámka:

- Protože jednodušší typy těchto spojek jsou určeny pouze pro přenos minimálních zatížení a protože spojky pro přenos větších zatížení jsou vyráběny jako komponenty s parametry uváděnými v katalozích, je dále uveden

14. Seznam použité literatury

Bach C.: *Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Erster Band: Text*, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903.

Bach C.: *Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Zweite Band: Tafeln und Tabellen*, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903.

Berard S. J., Watters E. O.: *Machine Design Problems*, D. Van Nostrand Company, New York, 1927.

Bhushan, B.: *Handbook of Nanotechnology*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 3-540-01218-4.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů – Zásady konstruování spoje*, Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1984.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů II – Hřídele, tribologie, ložiska*; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů III – Převody*; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987.

Boháček, F. et al.: *Základy strojnictví*, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00083-1.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů - Díl II; Převody a převodová ústrojí*, Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1963.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů, 1. Svazek*, SNTL Praha, Praha, 1989, ISBN 80-03-00046-7.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů, 2. Svazek*, SNTL Praha, Praha, 1990, ISBN 80-03-00426-8.

Branowski, B.: *Podstawy konstrukcji napedów maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Poznanskiej, 2007, ISBN 978-83-7143-347.

Budynas a kol.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 8th edition, Boston: Mc Graw Hill, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2 (ještě nenaskenovaný obsah).

Bureš, V.: *Části strojů II (Převody; pružiny, součásti potrubí)*; Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1979.

Bureš, V.: *Části strojů I (Části spojovací, hřídele, osy, ložiska a spojky)*; Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1988.

Černoch, S.: *Strojně technická příručka*, SNTL, Praha, 1959.

Dejl, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. – Spojovací části strojů*. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-018-3.

Dietrych, J.: *Podstawy konstrukcji maszyn*, Wydawnictwa naukowo - techniczne, Warszawa, 1967.

Deutschman, A. D. a kol.: *Machine Design - Theory and Practice*; Macmillan Publishing Co., Inc., New York and Collier Macmillan Publishers, London, 1963, ISBN 0-02-329000-5 (Hardbound), ISBN 0-02-979720-9 (International Edition).

Dubbel, I.: *Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl I*; SNTL, Praha, 1961.

Dubbel, I.: *Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl II*; SNTL, Praha, 1961.

Faires, V. M., Wingren, R. M.: *Problems on the Design of Machine Elements*, The Macmillan Company, New York, 1955.

Glezl, Š. a kol.: *Základy strojíctva*, Alfa vydavatelstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1986.

Grote, A.: *Handbook of Mechanical Engineering*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 978-3-540-49131-6.

Hamrock a kol.: *Fundamentals of Machine Elements*, 2nd edition, Boston: Mc Graw Hill, 2005, ISBN 978-0-07-246532-7.

Hájek, E. a kol.: *Pružnost a pevnost I*, SNTL, Praha, 1988.

Heiligeberg Workshop: *Die Zukunft der Maschinenelementen – Lehre (Heiligenberger Manifest)*, Institute für Maschinen – Konstruktionlehre und Kraftfahrzeugbau Universität Karlsruhe a Maschinenelemente und Konstruktionslehre TH Darmstadt (Prof. Dr. Ing. Birkhofer), Schloß Heiligeberg, 23. – 24. 4. 1997.

Hosnedl, S., Krátký, J.: *Příručka strojího inženýra - Obecné strojíčásti 1*. Praha: Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-055-3.

Hosnedl, S., Krátký, J.: *Příručka strojího inženýra - Obecné strojí části 2* Praha: Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-202-5.

Juinall, R. C.: *Fundamentals of Machine Component Design*, John Wiley&Sons, New York, 1983, ISBN 0-471-06485-8.

Kenneth, S. E., McKee, R.B.: *Fundamentals of Mechanical Component Design*, McGraw-Hill, New York, 1991, ISBN 0-07-019102-6.

Klepš, Z., Nožička, J.: *Technické tabulky*; SNTL, Praha, 1986.

Kochman, J. a kol.: *Části strojů - Díl I; Spojování částí strojů a spojovací části*; Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1956.

Kříž, R. Vávra, P.: *Strojírenská příručka, 5. svazek*; Technika konstruování, Technická dokumentace, Části strojů a převody (1. část); Praha: Scientia, 1994, ISBN 80-85827-59-X.

Kříž, R., Vávra, P.: *Strojírenská příručka, 6. svazek*; Praha: Scientia, 1995, ISBN 80-85827-88-3.

Málik, L. a kol.: *Konstruovanie*, Žilinská univerzita v Žilině, 2007, ISBN 978-80-8070-971-6.

Medvecký, Š. a kol.: *Základy konštruovania*, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 1999, ISBN 80-7100-547-9.

Medvecký, Š. a kol.: *Konstruovanie 1*, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 2007, ISBN 978-80-8070-640-1.

Meerkamm, H.: *Maschinenelemente*, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 1985.

Moravec, V.: *Konstrukce strojů a zařízení II – Čelní ozubená kola*. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-051-5.

Mott, R. L.: *Machine Elements in Mechanical Design*, Upper Saddle River, New Jersey, 2004, ISBN 0-13-061885-3.

Neukirchner, J.: *Fachwissen des Ingenieurs*; Veb Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig, 1976.

Němec, J. a kol.: *Pružnost a pevnost ve strojírenství*, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00193-5.

Niemann, V. a kol.: *Maschinen-elemente*. Berlin: Springer, 2001, ISBN 3-540-65816-5.

Orlov, P. I.: *Základy konštruovania*, Alfa vydavateľstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1979.

Pešík, L.: *Části strojů, stručný přehled*, 1. díl, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2001, ISBN 80-7083-584-2.

Pešík, L.: *Části strojů, stručný přehled, 2. díl*, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2002, ISBN 80-7083-608-3.

Roloff, H. a kol.: *Aufgabesammlung Maschinenelementen*, F. Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1975, ISBN 3-528-34015-0.

Schmidt, Z., Dobrovolný, B.: *Technická příručka - Výpočty a konstrukce*; Práce - Vydavatelstvo ROH, Praha, 1956.

Shigley, J.E., Mitchell, L.D.: *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983, ISBN 0-07-056888-X.

Shigley, J. E.: *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1983, ISBN 0-07-056898-7.

Shigley, J. E., Budynas, R. G., Nisbett K. J.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2.

Shigley, J. E., Mischke, R. Ch., Budynas, R. G.: *Konstruování strojních součástí*. Z angl. orig. *Mechanical Engineering Design*, 7th ed. 2004 přel. M. Hartl at al. Eds. M. Hartl a M. Vlk. VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, Brno, 2010, ISBN 978-80-214-2629-0 .

Spotts, M. F.: *Design of Machine Elements*, Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1961.

MATERIÁLY VE STROJNÍM INŽENÝRSTVÍ

1. Technické materiály v současné praxi

Všeobecně se technické materiály dělí na konstrukční materiály, tj. materiály na výrobu technických konstrukcí (součástí strojů, stavební dílce, elektrotechnické prvky apod.) a pomocné materiály, které slouží k výrobě, zpracování konstrukčních materiálů (oleje, pohonné hmoty, formovací látky, chemická činidla, chladíče kapaliny atd.). U technických materiálů je nutné systematizovat jejich kvalitativní vlastnosti. K tomuto účelu slouží veličiny, které stanovují základ pro hodnocení a měření. Jde o atomové, mechanické, tepelné, chemické, elektrické, magnetické, akustické, optické veličiny. V procesu výroby se hodnotí chování materiálů prostřednictvím technologických vlastností, které určují možnost jejich zpracování do požadovaného tvaru nebo možnost dosažení požadovaných užitkových vlastností, např. slévateľnost, kalitelnost, apod. Stejně tak technologické vlastnosti je třeba posuzovat podle standardních měřidel na základě normalizovaných metod a jednotek [10], [12], [14], [71].

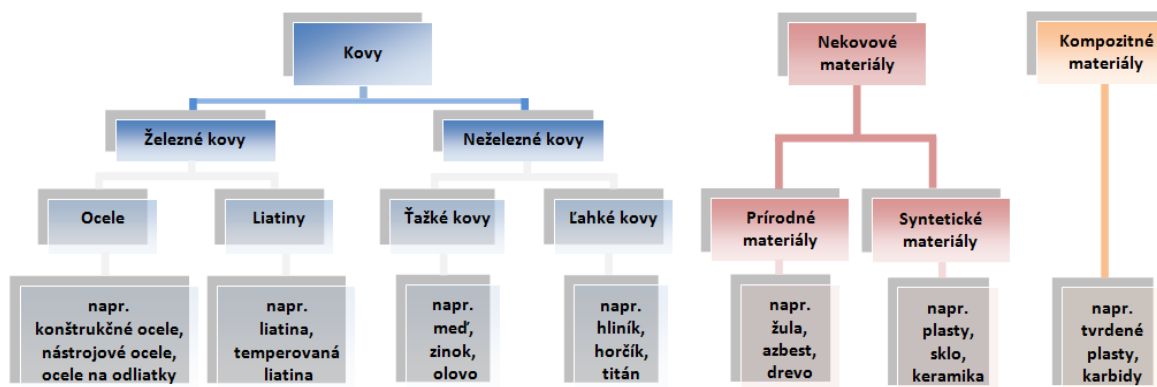
V současné době známe přibližně 20 000 slitin technických kovů, z toho 12 000 slitin železa s legujícími prvky, jako je C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, Nb, Ta, Ti, Zr a nečistotami O, S, P apod.

Slitin hliníku je známých asi 2 000 s přídavnými kovy, např. Cu, Mg, Si, Zn, Mn, Ni, Sn, Fe, Pb, Zr a škodlivými nečistotami O, H. Slitin mědi bylo vytvořeno asi 5 000 s přídavnými kovy, např. Zn, Sn, Al, Mn, Ni, Fe, Pb, Zr a nečistotami O, H. Slitiny dalších kovů mají využití v rozličných oblastech průmyslu. Hlavní skupiny materiálů používaných v současné praxi jsou znázorněny na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Hlavní skupiny materiálů [71]

Další možnosti rozdělení technických kovů jsou založené na požadovaných fyzikálních vlastnostech, praktickém využití a z dalších hledisek jejich použití. Rozdělení viz obr. 1.2.



Obr. 1.2 Rozdělení materiálů do skupin [71]

1.1. Charakteristika jednotlivých skupin materiálů

Oceli: jsou kujné slitiny železa, obsahující krom železa i malé množství uhlíku, jehož obsah leží pod hranicí 2,14 %, tj. pod hranicí rozpustnosti v austenitu. Legované ocele dále obsahují přísady ušlechtilých kovů. Ocele jsou hlavním konstrukčním materiálem pro stroje, motory, konstrukce, hlavně pro jejich mechanicky silně namáhané díly, jako hřídele, ozubená kola, šrouby, pružiny, čepy a hřídele [11], [19], [26], [27].

Litiny: jsou slitiny železa a uhlíku (2,14% až 6,67% C) s dobrou slévatelností. Používají se k odlévání tvarově složitých dílů, např. motorových skříní a částí převodových skříní.

Těžké neželezné kovy: (hustota $\rho > 5 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$), jsou např. měď, zinek, chrom, nikl, stříbro, cín, wolfram. Používají se samostatně pro svoje specifické vlastnosti nebo v slitinách.

Lehké kovy: (hustota $\rho < 5 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$), patří sem hliník, hořčík a titán. Mají při malé hustotě poměrně velkou pevnost a dobrou odolnost vůči korozi. Z hliníku se vyrábějí písty motorů a lehké díly automobilů a letadel.

Přírodní materiály: patří sem např. žula, slída, diamanty, dřevo, slonová kost, bavlna, vlna, hedvábí. Ve strojírenství se používá např. žula jako rýsovací deska. Má malou tepelnou vodivost a proti litinové desce větší teplotu.

Syntetické materiály: sem patří velká skupina makromolekulárních polymerů jednoduchých organických látek, nazývaných plasty a také sklo a keramika. Plasty jsou lehké, voděodolné, elektricky nevodivé, tepelně dobře izolující a chemicky odolné. Mechanické vlastnosti jsou různé, některé plasty jsou elastické a některé jsou tuhé a křehké. Tepelná odolnost plastů je malá. Použití plastů je rozmanité od pneumatik až po ozubená kola. Keramické materiály se používají pro svoji tvrdost a odolnost proti otěru jako řezné destičky, trysky a kluzné těsnící kroužky.

Kompozitní materiály: se skládají z více druhů různých materiálů. Sklolamináty jsou tvořené **umělou živicí** a tkaninou ze skleněných vláken. Jsou houževnaté, lehké a pevné. Používají se na výrobu nádrží, kajaků, desek plošných spojů pro desky elektroniky nebo také bazénů. Dalším typem kompozitních materiálů jsou spékané karbidy (SK) nebo také tvrdokovy. Mají tvrdost zrn karbidů a houževnatost pojivového kovu. Používají se na výrobu řezných destiček obráběcích nástrojů.

Výroba materiálů: materiály se získávají převážně z přírodních surovin. Suroviny se nacházejí v ložiskách zemské kůry. Kovy se získávají z kovových rud, plasty se vyrábějí převážně z ropy a zemního plynu. Tepelnými a chemickými procesy se získává ze surovin materiál. Materiál přichází do strojírenské výroby ve formě polotovarů, např. profilů, plechů nebo drátů. Přírodní materiály se odebírají přímo z přírodních ložisek, např. žula z kamenolomu.

Pomocné látky a energie: při výrobě dílů a montáži celků jsou potřebné pomocné látky a energie pro pohon strojů a tepelné procesy. Např. při soustružení součástek je potřebná obráběcí (řezná) kapalina k chlazení a mazání ostří nástroje, mazivo pro mazání ložisek soustruhu a elektrická energie pro pohon motorů a napájení řídicího systému.

2. Všeobecné vlastnosti materiálů

2.1. Fyzikální vlastnosti materiálů

Hustota

Hustota látky je podíl její hmotnosti m a objemu V . U plynů se udává hustota za normálního atmosférického tlaku [8], [10], [11].

Teplota tání

Teplota tání je teplota, při které se látka začíná (za normálního tlaku) tavit. Nejvyšší teplotu tání směsný karbid, skládající se ze čtyř dílů karbidu tantalu TaC a jednoho dílu karbidu zirkonu ($4000\text{ }^{\circ}\text{C}$), dále pak diamant ($3\ 816\text{ }^{\circ}\text{C}$) a grafit ($3\ 530\text{ }^{\circ}\text{C}$). Čisté kovy mají přesnou teplotu tání. Slitiny, např. oceli mají jedinou teplotu tání jen při určitém poměru složení (v eutektickém bodu), jinak přechází z pevného do kapalného skupenství v určitém intervalu teplot (mezi křivkami likvidus a solidus v rovnovážném diagramu).

Elektrická vodivost

Elektrická vodivost je schopnost vést elektrický proud a odpovídá proudu při jednotkovém napětí. Dobrymi vodiči jsou stříbro, měď a hliník. Používají se jako materiály na výrobu vodičů. Látky, které proud nevedou, se nazývají izolanty. Patří k nim plasty, sklo, keramika.

Teplotní délková roztažnost

Teplotní součinitel délkové roztažnosti α udává prodloužení délky Δl tělesa o délce l při změně teploty $\Delta t = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Délková roztažnost Δl musí být zohledněna např. u měřidel a vestavěných dílů nebo odlitků, jejichž tepelné smrštění po odlití se musí vyrovnávat rozměrovým přídatkem.

Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je míra schopnosti látky vést tepelnou energii. Velkou tepelnou vodivost mají kovy, především měď, hliník a železo, příp. ocel. Nízkou tepelnou vodivost mají plasty, sklo a vzduch. Používají se k tepelné izolaci.

2.2. Mechanické vlastnosti materiálů

Působením sil na materiál (pevné těleso) vzniká deformace, která je v závislosti na vnitřní struktuře materiálu trvalá (plastická), nebo dočasná, pružná (elastická). List pily z kalené nástrojové ocele je možné rostoucí silou ohýbat a potom klesající silou vracet zpět do výchozího tvaru, protože je elastický. Jeho struktura se při deformaci nemění, jen se nepatrně mění vzdálenosti atomů v krystalové mřížce. V určitém rozpětí deformace se chovají některé materiály po určitou dobu (každý materiál se periodickým namáháním unaví) téměř ideálně elasticky. Tato vlastnost se nazývá plasticita (tvárnost,

tažnost, kujnost) materiálu. Převážně plasticky tvárné jsou např. ocel zahřátá na kovací teplotu nebo čisté železo [13], [14], [15].

Elasticko-plastické deformační chování

Tyč z nelegované konstrukční oceli vykazuje při ohybu jak elastickou, tak plastickou deformaci. Po velké deformaci se tyč vrátí do původního tvaru jen částečně. Zůstává zachována trvalá plastická deformace. Elasticko-plastické deformační chování vykazuje mnoho materiálů, např. nekalené ocele, slitiny mědi a hliníku. Různé materiály mohou mít elastické, plastické a elasticko-plastické deformační chování.

Houževnatost, křehkost, tvrdost

Jako houževnatý označujeme materiál, který je možné elasticko-plasticky deformovat, deformace však klade velký odpor. K velmi houževnatým materiálům patří konstrukční a nerezavějící oceli. Křehký materiál je možné jen nepatrně deformovat, a to velkou silou, protože není možné měnit jeho krystalovou strukturu. Při větší deformaci materiál praskne a následně se rozlomí nebo rozpadne na víc částí. Křehké jsou tvrdé materiály jako drahokamy, sklo, keramika a určitým způsobem i zakalené uhlíkové oceli (s velkým množstvím martenzitu ve struktuře). Tvrdost materiálu je odpor proti vniknutí cizího tělesa a posuzuje se podle velikosti vtisku vytlačeného zkušebním tělesem při určitém tlaku nebo nárazové energii. Nejtvrdší je karbid bóru B₄C a diamant. K tvrdým materiálům patří spékané karbidy, drahokamy a materiály na bázi Al₂O₃ (korund), karbidy (karborundum SiC, TiC), sklo, keramika a zakalená ocel (obsahující ve struktuře martenzit). K měkkým materiálům patří hliník a měď. Velkou tvrdost musí mít nástroje, kluzné a třecí plochy.

2.3. Technologické vlastnosti materiálů

Technologické vlastnosti jsou charakteristiky zpracovatelnosti materiálů různými technologickými postupy [16], [18], [19].

Slévatelnost: je schopnost materiálu vytvořit řídkou taveninu, která úplně vyplní lící formu a při tuhnutí netvoří dutiny. Dobře slévatelné jsou různé druhy litin, slitin hliníku na odlitky, slitin mědi a zinku a slitin zinku.

Tvářitelnost: je schopnost materiálu plasticky se deformovat působením sil. Způsoby tváření za tepla jsou např. válcování za tepla a kování. K tváření za studena patří např. válcování za studena, ohybání, ohraňování a hluboké tažení.

Dobře tvárnit je možné oceli s nízkým obsahem uhlíku, slitiny hliníku a mědi určené k tváření. Litiny není možné tvářit.

Obrobitelnost: je vhodnost materiálu pro třískové obrábění. Udává, zda a za jakých podmínek může být materiál třískově obráběn, např. soustružený, frézovaný nebo broušený. Jako hodnotící kritéria obrobitelnosti slouží dosažená jakost povrchu obrobené plochy, podmínky (obtížnost) třískového obrábění a životnost nástroje.

Kovové materiály jsou převážně dobře obrobitelné, hlavně nelegované a nízkolegované oceli a litiny, slitiny mědi a slitiny hliníku. Špatně obrobitelné jsou elastické materiály a houževnaté materiály, jako je čistá měď, čistý hliník, nerezavějící ocel a titán a velmi tvrdé materiály, např. kalené ocele.

Svařitelnost: je vhodnost materiálu pro sváření nebo naváření. Dobře svařitelné jsou nelegované a nízkolegované oceli s nízkým obsahem uhlíku. Speciálními postupy je možné svařovat i vysoko legované ocele, slitiny a slitiny mědi.

Kalitelnost a zušlechťování: je schopnost materiálu získat vhodným tepelným zpracováním větší tvrdost nebo pevnost. Kalit je možné většinu ocelí, vytvrzovat je možné některé druhy slitin a slitin hliníku.

2.4. Chemické vlastnosti

Chemické vlastnosti materiálů jsou důležité z hlediska odolnosti proti vlivům prostředí, agresivních látek a vysokých teplot (ve smyslu podpory chemických účinků okolního prostředí) na materiál.

Korozní chování – popisuje chování materiálu v prostředí vlhkého vzduchu, průmyslové atmosféry, vody nebo jiných agresivních látek. Narušení struktury začínající na povrchu materiálu způsobené chemickými a elektrochemickými procesy se nazývá koroze. Proti korozi jsou odolné nerez oceli a většina měděných a hliníkových materiálů. Vůči korozi způsobené vlhkým vzduchem nebo průmyslovou atmosférou nejsou odolné nelegované a nízko legované oceli a litiny. Tyto materiály rezavějí. Úpravou povrchu nátěrem, nebo jiným ochranným povlakem je možné vzniku koroze zabránit na dlouhou dobu [21], [22], [23]. Další chemickou vlastností je odolnost proti tvorbě okují. Popisuje chování materiálu při vysokých teplotách na vzduchu. U některých materiálů, např. plastů, je třeba krom toho dbát na hořlavost a respektovat při použití nejen teplotní ztrátu pevnosti, ale i teplotu vznícení. Plasty také mění svoje vlastnosti působením slunečního záření, hlavně jeho UV složky.

Michael F. Ashby [2] v práci *Materials Selection in Mechanical Design* sestavil soubor materiálových map. Představují závislosti nejdůležitějších materiálových vlastností pro základní skupiny materiálů: kovy, keramiku, skla, polymery, elastomery a hybridní materiály (kompozity, pěny, přírodní materiály). V souboru sestavených materiálových map stanovil závislosti, a to: Youngův modul - měrná hmotnost materiálu, Youngův modul - pevnost v tahu, specifický Youngův modul - specifická pevnost v tahu, ztrátový součinitel - Youngův modul, tepelná vodivost - elektrický odpor, tepelná vodivost - rozptyl tepla, koeficient tepelné roztažnosti - Youngův modul, pevnost - maximální operační teplota, koeficient tření za sucha vůči oceli a Youngův modul - relativní náklady na jednotku objemu.

3. Kritéria pro volbu materiálu

Primárním požadavkem při volbě vhodného materiálu jsou téměř vždy jeho pevnostní charakteristiky. Důležité je optimálně skloubit materiálové charakteristiky (pevnost, houževnatost, odolnost vůči cyklickému zatěžování, opotřebení, působení teploty, koroze, atd.) s užitkovými vlastnostmi budoucího dílu či systému, [71].

Krom materiálových charakteristik však musí být při výběru materiálu zvažována i další kritéria pro volbu materiálu, zejména:

Technologie výroby – krom podmínky realizovatelnosti technologií pro daný výrobek by měly být při výběru materiálu uplatňovány zejména poznatky o vlivu na složení, strukturu a mechanické vlastnosti. Přednost by měly dostávat – pokud to umožní další kritéria – bezodpadové technologie, např. prášková metalurgie, přesné odlévání, umožňující maximálně využít materiál a potlačit na minimum obrábění, tedy technologii spojenou s nejvyššími náklady [13], [24], [25].

Materiálové a výrobní náklady – ekonomičnost volby je komplexní problém a zdaleka se netýká jen ceny zvoleného materiálu a technologie jeho zpracování. Např. náhrada oceli litinou hliníku nebo polymerním materiálem se na první pohled může zdát nepřilíš cenově výhodná. Do výpočtu ekonomičnosti volby je ale nutné zahrnout např. i nižší náklady na dopravu, povrchovou úpravu, obrábění.

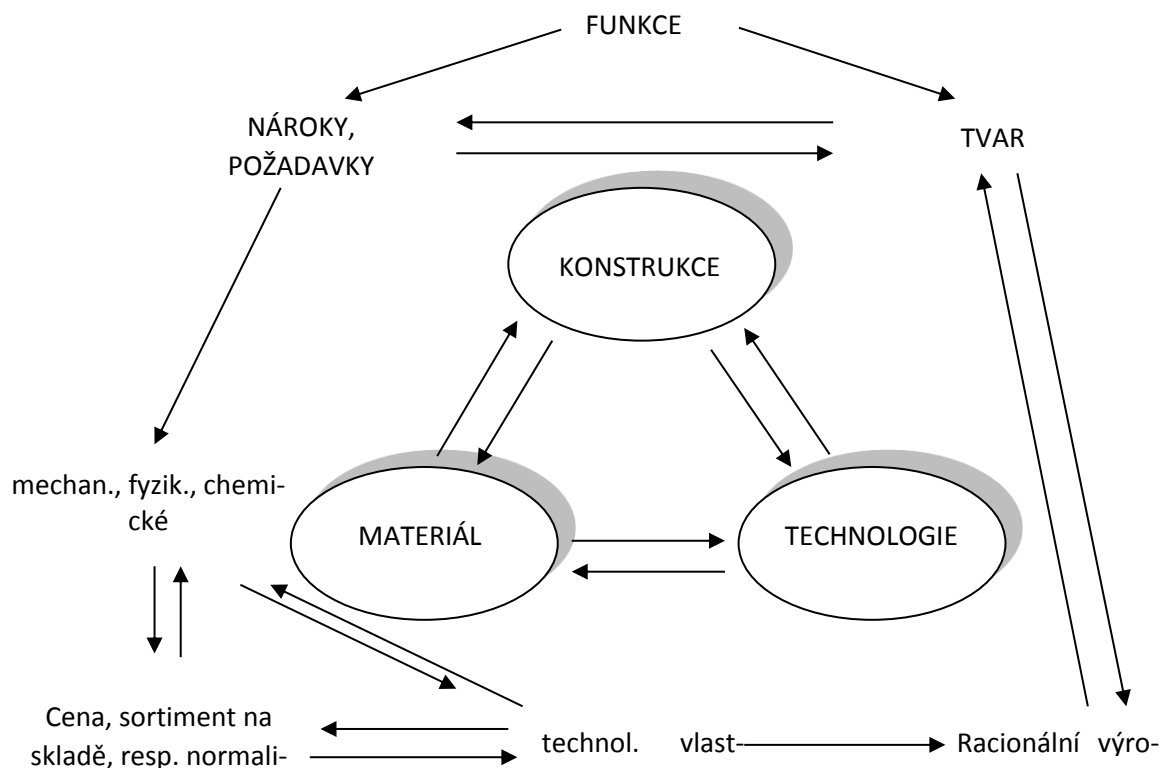
Ekonomičnost použití zvoleného materiálu – opět se jedná o mnohostranný problém. Dopad zvoleného materiálu na životní prostředí (přímý nebo nepřímý) má mnoho aspektů a je obtížně kvantifikovatelný. Mimo jiné je třeba k tomuto hledisku přiřadit i možnost recyklace vybraného materiálu.

Další kritéria – mezi ně patří např. nutnost zvážit sortiment polotovarů a dostupných materiálů, omezení výrobních zařízení, která jsou k dispozici, věrohodnost vstupních dat, t.j. do jaké míry zkouška definuje vlastnosti materiálu, jak dobře vzorek simuluje poměry v reálné součástce, znalost zatížení a prostředí, atd.

Volba materiálu je složitý proces a velké množství dostupných materiálů ji do jisté míry ještě komplikuje, není však hlavní příčinou jeho složitosti. Při volbě materiálu je třeba zvažovat celou řadu různých hledisek a jejich vzájemné vztahy a ovlivnění. Např. vztah materiálu (jeho technologických, mechanických, fyzikálních a chemických vlastností, jeho ceny, sortimentu, atd.), technologií (hlavně racionálnost výroby) a konstrukce (tvar a funkce výrobku, nároky na něj kladené). Dále je třeba zvažovat materiálové a výrobní náklady, energetickou a surovinovou náročnost, možný dopad volby materiálu na životní prostředí ve výrobním i užitelském cyklu, včetně např. možnosti recyklace materiálu [28], [32], [42].

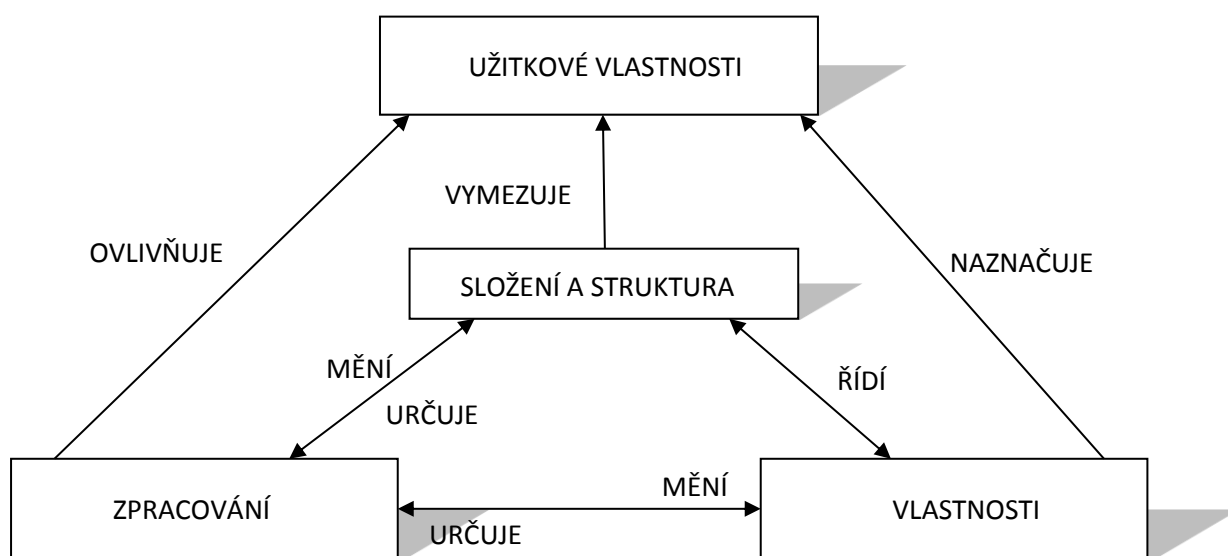
Volba materiálu pro daný výrobek nemůže probíhat nezávisle na technologii, kterou je

nutné použít k vytvoření daného výrobku (jeho tvaru, povrchu, atd.). Funkce výrobku, jeho konstrukce, materiál a technologií navzájem reagují (obr. 3.1). Funkce výrobku (např. přenos zatížení, tepla, skladování energie, apod.) určuje výběr materiálu, který je schopný požadované parametry splnit. Technologie je ovlivněná vlastnostmi použitého materiálu (jeho tvářitelnost, obrobitelnost, svařitelnost, slévatelnost, možnosti tepelného zpracování, atd.). Použitá technologie zase ovlivňuje možnost docílení požadovaného tvaru, přesnost tvaru, kvalitu povrchu a samozřejmě cenu.



Obr. 3.1 Vztah mezi vlastnostmi výrobku (tvarem, funkcí), materiálem a technologií [28]

Konstrukce výrobku (jeho tvar) limituje výběr použitelného materiálu a technologie. Čím je návrh komplikovanější, tím je specifikace užší a interakce větší.

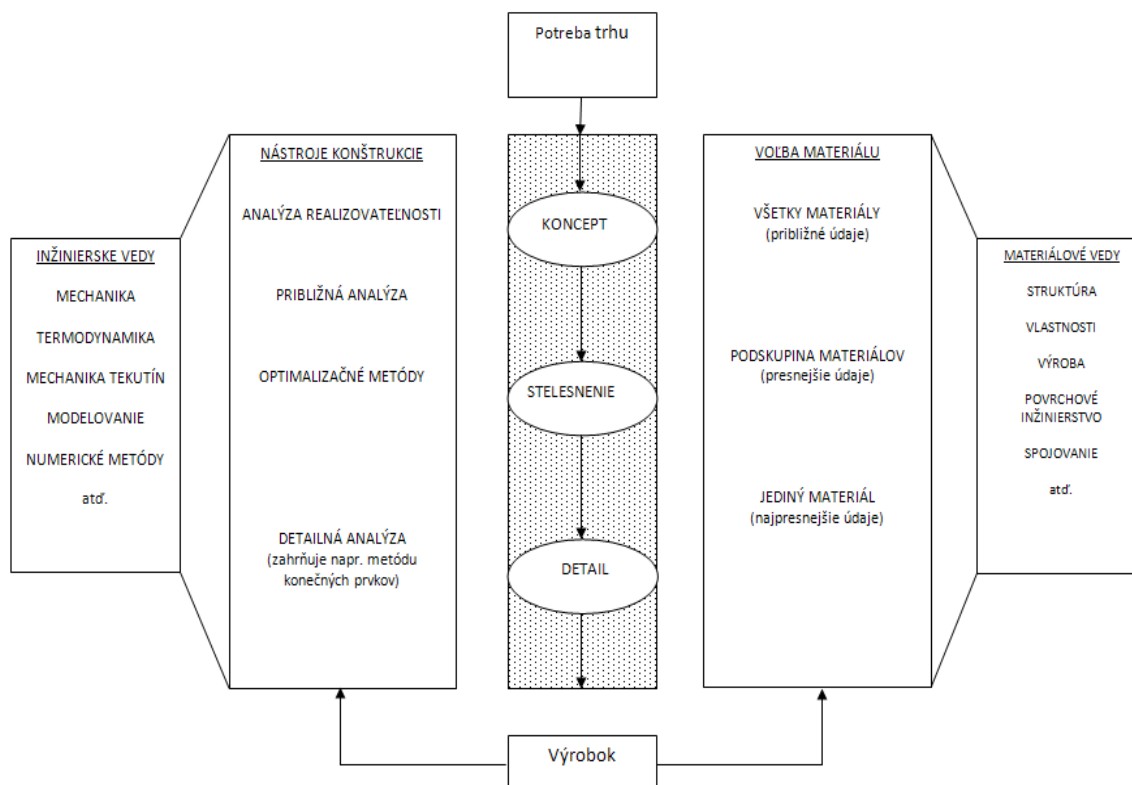


Obr. 3.2 Vztah mezi složením a strukturou materiálu, jeho zpracováním, vlastnostmi a užitkovými vlastnostmi výrobku [28]

Jak vyplývá z obr. 3.2, vlastnosti materiálu jsou určeny jeho složením a strukturou, které jsou ovlivňované (měněné) použitou technologií (např. zpevňování při tváření za studena) a naopak diktují výběr technologie. Složení a struktura materiálů jsou dané primárními a sekundárními technologiemi a jsou limitující pro dosažení požadovaných užitkových vlastností výrobku. Krom struktury a složení materiálu jsou užitkové vlastnosti výrobku ovlivněné vlastnostmi použitého materiálu a technologií jeho zpracování. Do celého systému vzájemných interakcí (užitkové vlastnosti – technologií – složení, struktura a vlastnosti materiálu) potom vstupují ekonomické parametry, t.j. především náklady na použitý materiál a technologii a není možné pominout dopad všech reagujících prvků na životní prostředí.

3.1. Volba materiálu v procesu návrhu výrobku

Návrh nového výrobku je interaktivní proces začínající určitým nápadem a končící výrobkem, který původní myšlenku nebo požadavek trhu naplňuje (obr. 3.3). Mezi začátkem a koncem tohoto procesu jsou tři stádia navrhování – koncepční, ztělesňující a detailní návrh [33], [34], [35].



Obr. 3.3 Vývojový diagram návrhu nového výrobku [28]

V první etapě koncepčního návrhu konstruktér v první řadě zvažuje všechny alternativní pracovní principy nebo schéma funkcí, které systém bude zabezpečovat. V etapě ztělesnění návrhu zkoumá funkční strukturu a analyzuje jednotlivé činnosti, včetně návrhu rozměru jednotlivých dílů systému. Tato etapa končí projektem (výkresem sestavy) jako podkladem pro detailní návrh. Levá část obrázku naznačuje nástroje a vedené disciplíny, které má konstruktér k dispozici, resp. které využívá.

Z obrázku je zřejmé, že i volba materiálu probíhá v souladu s konstrukčním návrhem ve třech úrovních, s cílem vybrat materiál optimálně zabezpečující užitkové vlastnosti výrobku. V první fázi, v etapě koncepčního návrhu, je zvažována široká skupina materiálů, které splňují základní podmínky omezení, např. pracovní teplotu, odolnost proti korozi v daném prostředí apod. Na základě požadovaných vlastností se rozhodujeme, zda bude součástka z kovu, plastu, keramiky nebo kompozitu. Současně taktéž určíme, zda kovová součást bude použita v litém, či tvárném stavu.

V druhé etapě vybíráme zúženou skupinu materiálů, které nejlépe vyhovují požadavkům, např. na nejlacinější technologii sváření, vhodnou povrchovou úpravu, cenu, atd. V rámci detailního návrhu se potom seznam kandidátů zúží na jeden, výjimečně několik nejlépe vyhovujících materiálů a taktéž technologií. Každému z uvedených kroků volby odpovídají jiné nároky na úroveň materiálových dat. V etapě koncepčního návrhu konstruktér potřebuje jen přibližné údaje o co největším množství materiálů, zvažuje různé koncepční varianty. V druhé etapě pracuje s přesnějšími údaji,

kteře poskytují materiálové databáze.

Ve fázi detailního návrhu jsou třeba co nejpřesnější údaje o jediném, případně několika materiálech. V některých případech nepostačí údaje z norem, či od výrobců a je třeba informaci doplnit, např. vlastními laboratorními zkouškami. I tak se může stát, že výrobek v provozu nevyhoví (funkčně nebo z důvodu nevhodného materiálu) a celý proces návrhu se vrací (s informacemi, které havárie nebo nefunkčnost poskytla) o jednu, či víc úrovní.

3.2. Proces volby materiálu

Volba materiálu se zpravidla realizuje ze dvou možných důvodů:

- výběr materiálu a technologií pro nový výrobek (původní návrh)
- hodnocení alternativních materiálů a výrobních postupů pro už existující výrobek

S novým výrobkem jsou obvykle spojené nové pracovní principy, proto je pro výběr optimálního materiálu a technologií třeba zvažovat co nejširší okruh možných kandidátů [44], [45], [46]. V druhém případě je situace poměrně jiná, v závislosti na důvodu zvažované náhrady. Důvody pro přehodnocení a případnou následnou inovaci stávajícího materiálu, či technologií je celá řada. Mezi hlavní patří:

- potřeba přizpůsobit se požadovaným funkčním či parametrickým změnám výrobku v souvislosti s variantním návrhem
- snaha o snížení podílu ceny materiálu na výrobku
- snížení výrobních nákladů
- využití předností nového materiálu či technologií
- řešení problémů spojených s technologií zpracování materiálu
- aplikace doporučení vyplývajících z fraktografické analýzy porušených výrobků.

V případě, že vybíráme materiál pro nový výrobek, měli bychom postupovat takto:

- definovat funkci, kterou výrobek bude muset zabezpečit a přenést ji na požadované materiálové vlastnosti (pevnost, korozní odolnost, atd.) a další faktory, jako je cena, či dostupnost materiálu
- definovat výborné požadavky (velikost a složitost dílu, požadované tolerancí, kvalitu povrchu, počet vyrobených dílů, atd.)
- porovnat požadované vlastnosti s parametry a vlastnostmi co nejširší palety materiálů a vybrat několik takových, které by mohly vyhovovat. Je užitečné při

několika dominantních vlastnostech stanovit minimální, příp. maximální hodnoty, které kandidující materiály musí u těchto vlastností splňovat

- posoudit vybrané materiály detailněji (např. jejich dostupnost v daných rozměrech polotovarů, ceny, chování ve výrobě, atd.)
- na základě výsledků detailního posouzení skupiny materiálů vybrat jediný materiál a určit data a specifikaci třeba pro konstrukci.

Při náhradě materiálu u už existujícího výrobku by měl být použit následující postup:

- charakterizovat užité vlastnosti, výrobní požadavky a cenu stávajícího materiálu
- určit, které charakteristiky by měly být zlepšeny
- vyhledat alternativní materiál a (nebo) technologii, podobně jako v předcházejícím případě (bod 3 až 5) a jeho (jejich) parametry detailně porovnat se stávajícím.

3.3. Vztah volby materiálu a technologií

Jedná se o velmi úzký a současně dost komplikovaný vztah, protože ve většině případů existuje několik resp. celá řada výrobních procesů, kterými danou součástku můžeme vyrobit. Základem je zvolit takový materiál a technologii, aby výsledkem byla maximální kvalita vyráběné součástky a současně její nejnížší cena. Výběr optimálních technologií je komplikovaný množstvím činitelů, které je třeba zvažovat, jako např. množství vyráběných dílů, tvarovou náročnost, požadavky na povrchovou drsnost a přesnost, dostupnost výrobního zařízení, dopad technologií na životní prostředí, ekonomickou náročnost, atd. [40], [41], [42], [43].

Volba materiálu určuje oblast technologií, které můžou být pro výrobu daného dílu použité. Přehled nejčastěji používaných technologií pro zpracování určité skupiny materiálů je uvedený v tab. 3.1, podle [80]. Při výběru materiálu je taktéž třeba zvažovat další aspekty jako jsou velikost součástky, tvar, složitost, toleranci, kvalitu povrchu a výrobní náklady. Z těchto hledisek jsou klíčovými faktory pro posouzení vhodnosti jednotlivých technologií zejména doba cyklu (čas potřebný k výrobě jednoho kusu), kvalita (požadované tolerancí, drsnost povrchu, nepřítomnost trhlin, pórů, vměstků, apod.), flexibilita (možnost rychle přizpůsobit danou technologii pro výrobu jiného výrobku, či variantu toho jistého výrobku), využitelnost materiálu a výrobní náklady.

Tab. 3.1 Použitelnost výrobních procesů pro vybrané materiálové skupiny [80]

Technologie	Litina	Uhlíkové ocele	Legované ocele	Nerezová ocel	Al a jeho slitiny	Cu a jej slitiny	Zn a jeho slitiny	Mg a jeho slitiny	Ti a jeho slitiny	Ni a jeho slitiny	Těžkovitělné kovy	Plastomy	Duromery
Lití / formování													
Lití do pískových forem	•	•	•	•	•	•	-	•	-	•	-	X	X
Přímé lití do keramických forem	-	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	X	X
Přímé lití do kovových forem	X	X	X	X	•	-	•	•	X	X	X	X	X
Vysokotlaké lití	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	-
Lití na spalitelný model	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Výroba forem foukáním	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Odstředivé lití	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Kování/objemové tváření													
Zpětné protlačování	X	•	•	-	•	•	•	-	X	X	X	X	X
Pěchování za studena	X	•	•	•	•	•		-	X	-	X	X	X
Zápustkové kování	X	•	•	•	•	•	X	•	•	-	-	X	X
Lisování spékání (PM) ^a	X	•	•	•	•	•	X	•	-	•	•	X	X

Protlačování za tepla	X	•	-	-	•	•	X	•	-	-	-	X	X	
Rotační kování	X	•	•	•	•	-	-	•	X	•	•	X	X	
Obrábění														
Obrábění polotovarů	z	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-	
Elektrochemické obrábění		•	•	•	•	-	-	-	-	•	•	-	X	X
Elektrojiskrové obrábění (EJO)	X	•	•	•	•	•	-	-	-	-	•	-	X	X
Drátové EJO	X	•	•	•	•	•	-	-	-	-	•	-	•	X
Lisování														
Tváření plechů	X	•	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X	X	
Tvarování zahřáté folie	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Kovotisk	X	•	-	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X	

3.4. Volba materiálu ve vztahu k životnímu prostředí

Dopad zvoleného materiálu na životní prostředí má mnoho aspektů a je obtížně kvantifikovatelný. Přímý vliv (např. toxicita) musí být samozřejmě vyloučený. Toxicita má řada prvků i anorganických a organických sloučenin. Toxické účinky různých látek můžeme zásadně rozdělit na *akutní* a *následné*, v druhé skupině se dále rozlišují účinky *mutagenní*, *karcinogenní* a *teratogenní*. Podrobným účinkem kovů na lidský organizmus se postupně rozšiřuje soubor těch, které jsou pro zdraví škodlivé. Vedle nedávno identifikovaných toxických kovů, jako jsou Hg, Be, As a Pb, je dnes za škodlivé považovaných dalších dvanáct kovů. K prokazatelně škodlivým už při stopových množstvích patří As, Cd, Hg, Se a Th, zatímco toxicita jiných kovů (Co, Ni, Pb, V, Zn) závisí

na velikosti a množství dávek. V poslední době se například velmi diskutuje o vlivu hliníku na stařeckou demenci. Na rozdíl od některých extrémně toxických, ale i degradabilních sloučenin, jakými jsou např. kyanidy, omezují se možnosti zneškodnění kovových odpadů jen na extrakci kovů nebo na jejich vázání do minimálně rozpustné formy. Problematice toxických prvků v kovech je věnována poměrně velká pozornost a ze zjištěných údajů jsou ihned vyvozovány důsledky [63], [64], [65].

Mezi hlavní nepřímé vlivy patří zejména:

- surovinová náročnost, těžba a zpracování surovin
- energetická náročnost
- bezpečnost a dlouhodobá spolehlivost konstrukce
- možnost recyklace.

V toxikologii polymerů jsou významné účinky zbytků monomerů, aditiv a látek vznikajících při likvidaci polymerů. Z celé řady škodlivých monomerů (např. vinylchlorid, akrylonitril, metylmetakrylát apod.), je nejdůležitější první uvedený karcinogenní monomer, jehož obsah se v polyvinylchloridu omezuje na 1 mg/kg.

Metalurgie, chemie a další průmyslová odvětví zatěžují životní prostředí odpady, které nemohou být recyklovány do základní technologie. Většina metalurgických postupů vytváří všechny druhy odpadů – plynné (oxidy uhlíku, dusíku a síry), tekuté (odpadové vody, kaly) a tuhé (struska, prachové úlety). Jedním z ekologických parametrů pro posuzování průmyslových plynných emisí je měrná spotřeba primární energie, vztahující se k určitému sortimentu výrobků.

Z jednotlivých skupin materiálů jsou prakticky úplně recyklovatelné oceli. To je však spojeno s řadou problémů a zvýšenými náklady např. v souvislosti s tříděním a čištěním odpadu třískového obrábění nebo tříděním vratného odpadu. Známým problémem vratného odpadu ocelí je rostoucí obsah mědi a povrchově aktivních prvků. Neželezné kovy jsou recyklovatelné asi z 90 %, neobsahují různá plniva (křída, mastek, sklo, apod.) přidávané pro zlepšení mechanických vlastností; reaktoplasty není možné recyklovat. Elastomery (kaučuk, guma) se recyklovat nedají, ale hledají se pro ně dodatečné možnosti uplatnění, ke kterým např. patří použití dřevěné gumy při stavbě cest.

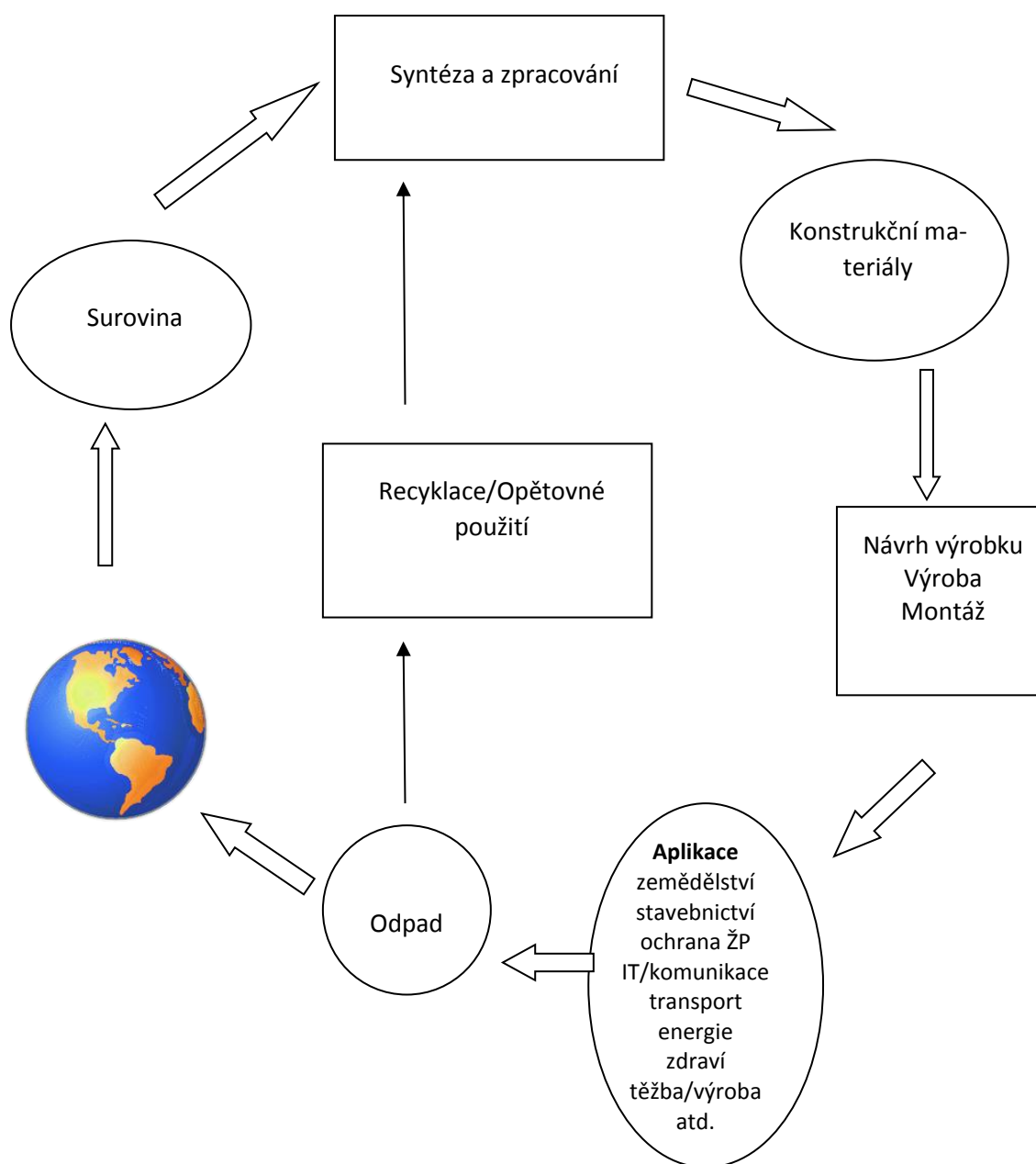
Příslibem pro blízkou budoucnost jsou výrobky ulehčující recyklaci. Ty musí splňovat několik následujících **základních pravidel**:

- používat materiály, které jsou recyklovatelné nebo použitelné pro jiný účel,
- minimalizovat počet materiálů v jednom výrobku, nebo používat z hlediska recyklace kombinovatelné materiály,
- nekombinovatelné materiály spojit demontovatelným způsobem,
- označovat plasty.

Novým vývojovým směrem jsou degradabilní materiály, především organické, teda plasty, které se můžou začlenit do přírodního koloběhu látek. V degračním procesu se uplatňují hydrolytické, oxidační a fotodegrační mechanismy, které vedou k rozštěpení molekulárních řetězců na kratší útvary, které snadno podléhají biodegradaci působením mikroorganismů. Degradabilní plasty se mohou rozkládat kdekoli ve volné přírodě, přednostně na suchozemských skládkách nebo na hladinách moří. K velmi účinné biodegradaci dochází při kompostování degradabilních plastů, která vede k vzniku humusu. Kompostové hnojivo je možné využít k pěstování některých polnohospodářských plodin, které jsou základní surovinou právě pro výrobu degradabilního plastu, která je založená na kombinaci rostlinných a syntetických surovin. Tým se vhodný polymerní materiál začleňuje do uzavřeného přírodního cyklu bez škodlivých dopadů na ekologii. Některá omezení tohoto vývojového směru můžou

vyplýnout z jeho rozporu s požadavky dlouhodobé životnosti výrobku.

Na obr. 3.4 je schematicky znázorněný typický materiálový cyklus. Snahou je, aby množství nerecyklovatelného odpadu bylo minimální (na obrázku znázorněné slabší šipkou).



Obr. 3.4 Typický materiálový cyklus [71]

Recyklace materiálů (výrobků) má celou radu praktických podob, od renovačních postupů umožňujících opětovné opotřebení dílu (např. naváření vrstev na opotřebované díly), navzdory recyklaci v podobě využití opotřebovaného výrobku jako suroviny k výrobě materiálu pro nový výrobek, až po energetické využití (např. spalování plastů).

Klasický koloběh materiálu s variantními kroky recyklace ve výrobním cyklu (zpracování výrobního odpadu v primárním okruhu), při exploataci výrobku (sekundární okruh – procesy regenerace), využití výrobku po skončení jeho životnosti (terciální okruh) až po transformaci výrobku na jiný materiál či energii.

4. Označování materiálů

Jednotlivé druhy materiálů se běžně označují značkami sestavenými buď z písmen nebo číslic nebo kombinací písmen a číslic. Oceli jsou v každé zemi, která je vyrábí, označovány jednak podle národních technických norem a jednak firemními značkami jednotlivých výrobců. Firemními značkami se označují oceli, které nejsou dosud v příslušné zemi standardizované nebo oceli standardizované z důvodu rozeznání původu výrobců. Systémy označování v jednotlivých zemích se velmi liší. V poslední době však zvažují jednotlivé země Evropského společenství ve stále větší míře označování dle EN, čímž se označování materiálů postupně sjednocuje. V technické dokumentaci pocházející z těchto zemí se však i nadále velmi často setkáváme s označením dle národní technické normy [51], [52], [53], [71].

4.1. Rozdělení a označování ocelí podle evropských norem

Rozdělení a označování ocelí se v Evropě sjednocuje na základě evropských norem (EN). Těmito normami jsou povinni se řídit všichni členové CEN. Členy jsou národní normalizační organizace 18 zemí Evropy, konkrétně Belgie, Dánsko, Finsko, Francie, Irsko, Island, Itálie, Lucembursko, Německo, Holandsko, Norsko, Portugalsko, Rakousko, Řecko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Velká Británie, tedy prakticky všechny země západní Evropy. Tyto normy však postupně přebírají i další evropské země včetně České a Slovenské republiky. V České republice jsou vydávány jako ČSN EN a nahrazují dosavadní normy ČSN. Postupně se tak EN stanou normami celoevropskými. Proto je nutné se s nimi seznámit.

Rozdělení ocelí je dané evropskou normou EN 10020-88 (ČSN EN 10020-94), v které se definuje:

- pojem ocel na tváření,
- rozdělení druhů oceli podle chemického složení na nelegované a legované,
- rozdělení do hlavních skupin jakosti na základě vlastností a účelu použití.
- Systémy zkráceného označování oceli jsou uvedené v evropské normě:
- EN 10027-1-92 a jejího doplňku IC 10-93 (informační oběžník), převzatého do ČSN pod označením ČSN ECIS IC 10-95. Systémy číselného označování uvádí EN 10027-2-92 (ČSN EN 10 027-2-95).

Jako oceli na tváření se označují materiály, jejichž hmotnostní podíl železa je větší než obsah kteréhokoli jiného prvku, a které obsahují méně než 2 % C a obsahují jiné prvky. Některé chromové oceli obsahují víc než 2 % C, avšak hodnota 2 % se obecně považuje za hraniční hodnotu pro rozlišení mezi ocelí a litinou.

Při rozdělení ocelí podle chemického složení na nelegované a legované se vychází z minimálních obsahů prvků předepsaných normou nebo dodacími podmínkami. Pokud je pro prvky předepsaná jen maximální hodnota obsahu v tavenině, je s výjimkou Mn pro rozdělení ocelí na nelegované a legované rozhodujících 70 % této nejvyšší hodnoty. Pro mangan platí v tomto případě jako mezní obsah 1,80 %. U vícevrstvých a plátovaných výrobků je rozhodující chemické složení základního materiálu.

- **Nelegované oceli** jsou ty, jejichž určující obsahy jednotlivých prvků v žádném případě nedosahují mezní obsahy uvedené v tabulce mezních obsahů legujících prvků pro rozdělení ocelí na nelegované a legované.
- **Legované oceli** jsou takové, jejichž obsahy jednotlivých prvků minimálně v jednom případě dosahují nebo překračují mezní obsahy uvedené v tabulce mezních obsahů legujících prvků pro rozdělení ocelí na nelegované a legované.

4.2. Nelegované oceli

4.2.1. Oceli obvyklých jakostí

Oceli obvyklých jakostí jsou oceli s požadavky na jakost, jejichž splnění nevyžaduje zvláštní opatření při výrobě. Musí splňovat následující podmínky: nejsou určeny na tepelné zpracování, přičemž podle EN 10020 se žádný druh žíhání (např. normalizační žíhání) nepovažuje za tepelné zpracování, požadavky, které je nutné dodržet pro nezpracovaný nebo normalizačně žíhaný stav jsou v souladu s hodnotami uvedenými v tabulce mezních hodnot pro oceli obvyklých jakostí, s výjimkou obsahu Si a Mn nejsou stanovené žádné obsahy legujících prvků [12], [71].

4.2.2. Nelegované jakostní oceli

Nelegované jakostní oceli jsou všechny nelegované oceli, které nejsou zahrnuté ve skupinách ocelí obvyklých jakostí a ušlechtilých ocelí. Tyto oceli nemají stanovenou rovnoměrnou reakci na tepelné zpracování a žádné požadavky na stupeň čistoty co se týče nekovových vměstků. V porovnání s oceli obvyklých jakostí jsou na ně kladené přísnější nebo dodatečné požadavky (např. ohledně náchylnosti ke křehkému lomu, velikosti zrna, tvářitelnosti), takže jejich výroba vyžaduje zvláštní péči.

4.2.3. Nelegované ušlechtilé oceli

Nelegované ušlechtilé oceli vykazují, na rozdíl od jakostních ocelí, vyšší stupeň čistoty. Většinou jsou určeny pro zušlechťování nebo povrchové kalení a vyznačují se tím, že rovnoměrněji reagují na toto zpracování. Požadovaných vlastností je dosahováno přesným stanovením chemického složení a podmínkami výroby a zkoušení - často v kombinaci a v zúžených mezích (vysoce nebo úzce vymezená pevnost nebo kalitelnost v spojení s vysokými požadavky na tvářitelnost, svařitelnost, houževnatost apod.).

Mezi nelegované ušlechtilé oceli patří:

- oceli s požadavky na nárazovou práci v zušlechtěném stavu,
- oceli s požadavkem na hloubku zakalené vrstvy nebo povrchovou tvrdost v zakaleném nebo povrchově zakaleném, příp. popuštěném stavu,
- oceli s požadavky na velmi nízké obsahy nekovových vměstků (i oceli, pro které je možné tento obsah dohodnout).
- oceli s předepsaným maximálním obsahem P a S = 0,020 % v tavenině a 0,025 % v hotovém výrobku (např. dráty pro vysoce namáhané pružiny),
- oceli s minimálními hodnotami nárazové práce KV > 27 J na vzorcích při -50 °C,
- oceli pro jádrové reaktory s vymezením obsahu Cu = 0,10 %, Co = 0,05 %, V = 0,05 % při analýze hotového výrobku,
- oceli s předepsanou minimální hodnotou elektrické vodivosti > 9 S m/mm²,
- feriticko-perlitické oceli s předepsaným minimálním obsahem C = 0,25 %, které pro dosažení vytvrzení obsahují ještě pro nelegované oceli přípustné obsahy jednoho nebo více mikrolegujících prvků, např. V, Nb,
- oceli pro výztuž do betonu.

4.3. Legované oceli

4.3.1. Legované jakostní oceli

Do této skupiny patří oceli určené pro podobné účely jako nelegované jakostní oceli, ale aby vyhovovaly zvláštním podmínkám použití, obsahují legující prvky v obsazích, které z nich činí legované oceli. Tyto oceli nejsou obecně určené pro zušlechťování a povrchové kalení. Patří k nim:

- svařitelné jemnozrnné konstrukční oceli pro ocelové konstrukce včetně tlakových nádob a potrubí, které vyhovují následujícím požadavkům:
 - pro t = 16 mm je předepsaná mez kluzu Re < 380 MPa
 - obsahy legujících prvků musí ležet pod mezními hodnotami, uvedenými v tabulce mezních obsahů pro rozdělení legovaných svařitelných jemnozrnných konstrukčních ocelí na jakostní a ušlechtilé oceli,

- minimální hodnota nárazové práce KV podíl při -50 oC = 27 J.
- oceli legované jen Si nebo Si a Al se zvláštními požadavky na magnetické a elektrické vlastnosti,
- oceli určené pro výrobu kolejnic, a banských výztuží,
- oceli pro za tepla nebo za studena válcované ploché výrobky, které jsou určeny pro náročnější tváření za studena a jsou legované jednotlivě nebo v kombinaci B, Nb, Ti, V nebo Zr, podobně jako dvoufázové oceli,
- oceli legované jen Cu.

4.3.2. Legované ušlechtilé oceli

Mezi tyto oceli patří oceli, u kterých se požadované vlastnosti - často v kombinaci a v zúžených mezích - dosahují přesným stanovením chemického složení a zvláštními podmínkami výroby a zkoušení. Patří sem zejména nerezavějící oceli, žáruvzdorné a žárupevné oceli, oceli na valivá ložiska, nástrojové oceli, oceli na ocelové konstrukce a na stavbu strojů, oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi atd. [71].

4.4. Systém zkráceného označování ocelí

V tab. 4.4 je uvedený systém označování ocelí.

Tab. 4.4 Schéma systému označování ocelí podle EN 10027-1, EN 10 027-2 a IC-10 [71]

Značka oceli v normě						
Základní symboly (EN 10027-1)			Přídavné symboly IC-10			
Písmeno	Vlastnosti		Oceli		+	Ocelové výrobky
	Obsah uhlíku	Legující prvky	Skupina 1	Skupina 2		
Značka dle EN 10 027-1, číselné označení dle EN 10 027-2						

Skupina 1 - Značky vytvořené na základě použití a mechanických a fyzikálních vlastností ocelí

Skupina 2 - Značky vytvořené na základě chemického složení oceli

A- Příklady symbolů pro zvláštní požadavky

B - Příklady symbolů pro druhy povlaků

C - Příklady symbolů pro stavy zpracování

5. Číselné označování ocelí

Pro všechny oceli obsažené v evropských normách se stanoví číslo podle systému uvedeného v EN 10027-2. Tato čísla platí jako doplňková ke značkám ocelí podle EN 10027-1. Kompetentní pro přidělování čísel je Evropský registrační úřad se sídlem v Düsseldorfu. Žádost o přidělení čísla oceli vyráběné podle národních norem je nutno podávat prostřednictvím kompetentního národního místa, tab. 5.1.

Tab. 5.1 Čísla ocelí se tvoří následovně [71]

X.	XX	XX(XX)
Číslo hlavní skupiny materiálů 1 - ocel 2 až 9 mohou být přidělena jiným materiálům.	Číslo skupiny ocelí - označují se podle tab. čísels ocelí	Pořadové číslo. V současnosti se pro pořadové číslo předpokládají dvě místa, místa uvedená v závorce jsou připravená pro budoucí použití.

5.1. Označování ocelí v některých členských státech EU

I když členské země EU postupně přecházejí na jednotné označování ocelí podle evropských norem, setkáváme se stále ve velké míře s označováním ocelí podle zvyklostí jednotlivých zemí. Oceli se označují ve všech zemích, které je vyrábějí, jednak podle technických norem a jednak podnikovými označeními jednotlivých výrobců. Dále se budeme věnovat systémům označování podle technických norem v SRN, Francii, Velké Británii, Itálii, Španělsku a Belgii. Uvádíme též starší označení, se kterým se v technické dokumentaci stále setkáváme.

Jednotlivé druhy ocelí se označují značkami sestavenými buď z písmen nebo číslic nebo písmen a číslic. K vytvoření systému označování se volí různá kritéria, z nichž nejběžnější je chemické složení. U některých systémů je to pevnost v tahu, jinde je to pouze sériové číslo se znakem skupiny oceli podle účelu použití apod. Písmena použitá ve značce legované oceli označují zpravidla hlavní legující prvky. Jak vyplývá z tab. 5.3, používala se v různých státech pro jednotlivé prvky různá písmena. V současné době se toto v zemích EU sjednotilo.

Tab. 5.3 Označování ocelí ve vybraných zemích EU [71]

Prvek	Chemická značka	SRN	Francie	Itálie	Španělsko
Hliník	Al	Al	A	A	Al
Bór	B	B	B	-	B
Uhlík	C	-	-	-	-
Kobalt	Co	Co	K	K	Co
Chróm	Cr	Cr	C	C	Cr
Měď	Cu	Cu	U	-	Cu
Mangan	Mn	Mn	M	M	Mn
Molybden	Mo	Mo	D	D	Mo
Dusík	N	N	Az	Az	N
Niob	Nb	Nb	Nb	-	Nb
Nikl	Ni	Ni	N	N	Ni
Fosfor	P	P	P	-	P
Olovo	Pb	Pb	-	-	Pb
Křemík	Si	Si	S	S	Si
Titán	Ti	Ti	T	T	Ti
Vanad	V	V	V	-	V
Wolfram	W	W	W	-	W
Zirkonium	Zr	Zr	Zr	-	Zr

Pozn.: U francouzských a italských ocelí se uvedené značky používaly asi do poloviny osmdesátých let. V současnosti značky odpovídají německým.

5.2. Označování ocelí podle německé normy DIN

V SRN se oceli označují dvěma způsoby:

- jen číselným, kterým se určuje číslo materiálu (Werkstoffnummer),
- kombinací číslic a písmen.

Pro tento způsob vytvoření značky jsou oceli rozdělené do skupin podle tab. 5.4.

Tab. 5.4 Rozdělení ocelí do skupin [71]

Nelegované oceli (uhlíkové)		Legované oceli		
Tepelně zpracované, krom normalizačního žíhání	Určené na tepelné zpracování		Nízkolegované - obsah legujících prvků do 5 %	Vysokolegované - obsah legujících prvků nad 5 %
	Neušlechtilé oceli	Jakostní oceli		

Označování nelegovaných neušlechtilých ocelí

- 1. znak - velké písmeno označující způsob odlévání oceli
 - U - neuklidněná ocel
 - R - uklidněná nebo polouklidněná ocel
 - RR - zvlášť uklidněná ocel
- 2. znak - písmena St
- 1. znak - dvojčíslí udávající nejmenší pevnost v tahu v kp/mm²
- 2. znak - číslo skupiny jakosti, oceli jsou rozdělené podle obsahu P a S, případní i C, číslo skupiny jakosti se oddělí od čísla udávajícího nejmenší pevnost vodorovnou čárkou.

Uvedené čtyři znaky tvoří základní značku oceli, která může být doplněná ještě doplňkovými znaky:

před 1. Znakem

- E – ocel vyrobená v elektrické peci
- M - ocel vyrobená v martinské peci
- Y - ocel vyrobená v kyslíkovém konvertoru

mezi 1. a 2. znakem

- Q - zvlášť vhodná na odstřihování
- Z - vhodná na tahání tyčí
- P - vhodná na kování v zápustkách nebo na kovacích strojích
- Ro - určená na výrobu potrubí za posledním znakem
- U - dodání ve stavu po vyvácování
- N - dodání v normalizačně žíhaném stavu.

Označování nelegovaných jakostních ocelí

U těchto ocelí se v označení nachází střední obsah uhlíku.

- 1. znak - písmeno C
- 2. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku.

Označování nelegovaných ušlechtilých ocelí

- 1. znak - písmena Ck
- 2. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku

Označování nízkolegovaných ušlechtilých ocelí

- 1. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku
- 2. znak - chemické značky legujících prvků, uspořádaných za sebou podle jejich středního obsahu v oceli; uvedené jsou jen prvky, které jsou významné pro označení oceli, příp. pro rozlišení podobných ocelí.
- 3. znak - střední obsah legujících prvků vyjádřený násobkem skutečného středního obsahu podle tab. 5.5.

Tab. 5.5 Přehled obsahu legujících prvků vyjádřeného násobkem skutečného středního obsahu [71]

Legující prvky	Koeficient
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Cu, Mo, Ti, V	10

P, S, N	100
---------	-----

Označování vysokolegovaných ocelí

U těchto ocelí se při vyjádření obsahu hlavních legujících prvků udává jejich skutečný obsah. Na rozdíl od nízkolegovaných ocelí je prvním znakem písmeno X.

- 1. znak - písmeno X
- 2. znak - číslo udávající stonásobek středního obsahu uhlíku
- 3. znak - chemické značky významných legujících prvků
- 4. znak - číslo udávající přibližný střední obsah hlavních legujících prvků.

5.3. Světoví producenti oceli

V posledních letech vyprodukovala Čína 567,8 miliónů tun oceli, takže se na světové produkci podílela téměř z poloviny. Druhé místo obsadilo Japonsko následované Ruskem, které na třetím místě vystřídal Spojené státy. Výroba oceli v Severní Americe se propadla o téměř 34 procent a v Evropě o zhruba 23 procent (viz tab. 5.8, obr. 5.12). [60]

Ocelářský průmysl se začíná pomalu zotavovat s postupným oživením světové ekonomiky. Výroba oceli meziročně stoupla o 30 % na 106,4 miliónů tun. Ve srovnání se 117 milióny tun v posledním období se však výroba podle agentury Reuters snížila. Podle analytika Johna Lichtensteina ze společnosti Accenture by měla světová produkce a poptávka po oceli opět stoupnout o zhruba deset procent, čímž by se výroba vrátila na úroveň z let 2008 až 2010. [71]

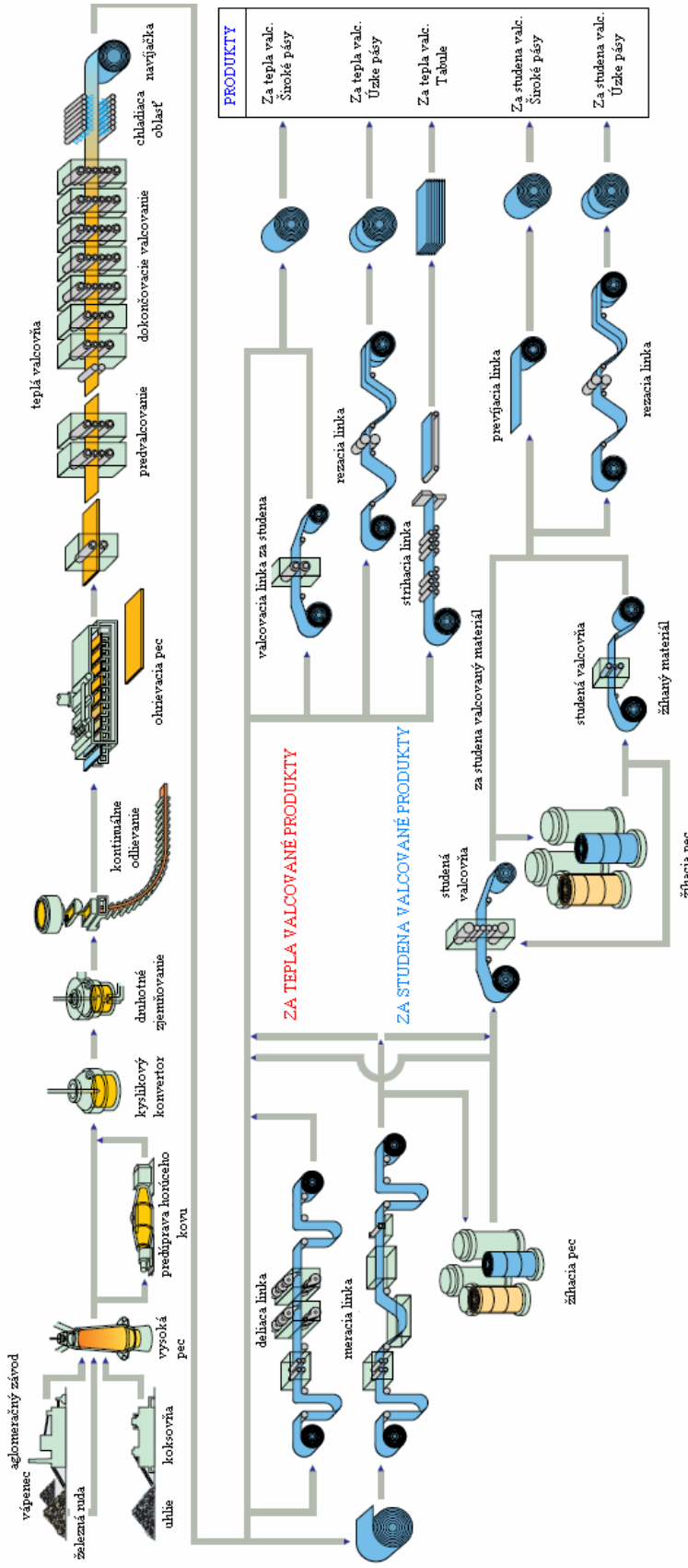
Členové WorldAutoSteel :

- Arcelor Mittal – Luxembourg
- Baoshan Iron & Steel Co. Ltd. – China
- China Steel Corporation – China
- Hyundai-Steel Company – South Korea
- JFE Steel Corporation – Japan
- Kobe Steel, Ltd. – Japan
- Nippon Steel Corporation – Japan
- Nucor Corporation – USE
- POSCO – South Korea
- SeverStal – Russia/USE
- Sumitomo Metal Industries, Ltd. – Japan
- Tata Steel & Corus – India, UK, Netherlands
- ThyssenKrupp Stahl AG – Germany

- USIMINAS – Brasil
- United States Steel Corporation – USE
- Voestalpine Stahl GmbH – Austria

Tab. 5.8 80 největších světových producentů oceli za rok 2008, mmt – produkce v miliónech tun [60]

2008		2007			2008		2007		
Rank	mmt	Rank	mmt	Company	Rank	mmt	Rank	mmt	Company
1	103.3	1	116.4	ArcelorMittal	41	6.9	40	7.4	Jiuquan Steel
2	37.5	2	35.7	Nippon Steel ¹	42	6.9	41	7.3	Salzgitter ⁵
3	35.4	5	28.6	Baosteel Group	43	6.8	43	6.9	voestalpine
4	34.7	4	31.1	POSCO	44	6.5	39	7.8	Jianlong Group
5	33.3	NA	31.1	Hebei Steel Group	45	6.5	44	6.8	BlueScope
6	33.0	3	34.0	JFE	46	6.4	46	6.4	Metallinvest
7	27.7	11	20.2	Wuhan Steel Group	47	6.4	47	6.4	Beitei Steel
8	24.4	6	26.5	Tata Steel ²	48	6.1	60	5.2	Guofeng Steel
9	23.3	8	22.9	Jiangsu Shagang Group	49	6.1	51	6.1	SSAB
10	23.2	10	21.5	U.S. Steel	50	6.0	56	5.4	Erdemir
11	21.8	8	23.8	Shandong Steel Group	51	5.9	54	5.9	AK Steel
12	20.4	12	20.0	Nucor	52	5.9	52	6.1	Mechel
13	20.4	13	18.6	Gerdau	53	5.7	53	6.0	Nanjing Steel
14	19.2	15	17.3	Severstal	54	5.6	42	7.0	Ilyich
15	17.7	17	16.2	Evráz	55	5.4	61	5.0	Tonghua Steel
16	16.9	14	17.9	Riva	56	5.3	56	5.6	Xinyu Steel
17	16.0	NA	16.2	Anshan Steel	57	5.2	57	5.5	HKM ⁶
18	15.9	16	17.0	ThyssenKrupp ³	58	5.1	NA	4.5	Sanming Steel
19	15.0	18	14.2	Maanshan Steel	59	5.0	59	5.3	CSN
20	14.1	20	13.8	Sumitomo Metal Ind	60	4.7	63	4.6	HADEED
21	13.7	19	13.9	SAIL	61	4.5	68	4.4	Tianjin Tiantie Group
22	12.2	23	12.9	Shougang Group	62	4.4	72	4.0	Hebei Jinxi Group
23	12.0	21	13.3	Magnitogorsk	63	4.3	62	5.0	Steel Dynamics
24	11.3	30	9.7	Novolipetsk	64	4.3	69	4.1	Pingxiang Steel
25	11.3	26	11.1	Hunan Valin Group	65	4.3	65	4.5	Ezz Group
26	11.0	27	10.9	China Steel Corporation	66	4.0	71	4.1	Nisshin
27	10.4	22	13.1	Techint ⁴	67	4.0	70	4.1	Tianjin Steel
28	10.0	28	10.1	IMDRO	68	3.9	64	4.6	Zaporizhstahl
29	9.9	NA	11.6	Industrial Union of Donbass	69	3.8	NA	3.0	JSW Steel
30	9.9	29	10.0	Hyundai Steel	70	3.7	73	4.0	Lion Group
31	9.8	34	8.8	Baotou Steel	71	3.7	75	3.5	AHMSA
32	9.2	31	9.3	Taiyuan Steel	72	3.7	NA	3.0	ICDAS
33	9.0	33	9.0	Anyang Steel	73	3.6	NA	4.3	SIDOR ⁶
34	8.2	32	9.1	Metinvest	74	3.6	78	3.5	Hangzhou Steel
35	8.2	37	8.1	Celsa	75	3.5	NA	2.7	Hebei Jingye Steel
36	8.1	38	8.1	Kobe Steel	76	3.5	77	3.5	Chongqing Steel
37	8.0	35	8.7	Usiminas	77	3.4	NA	2.7	Commercial Metals
38	7.5	45	6.6	Panzhuhua Steel	78	3.4	74	3.6	Essar Steel
39	7.5	50	6.2	Rizhao Steel	79	3.4	79	3.5	Tokyo Steel
40	7.4	NA	7.6	Benxi Steel	80	3.1	NA	3.2	Vizag Steel



6. Hodnocení povrchu materiálů

Povrch průmyslových součástek nebo obrobků si můžeme představit jako fyzickou hranici mezi obrobkem a okolitým prostředím. Reálný povrch obrobku definují mezinárodní normy (ISO) jako soubor charakteristických vlastností, které fyzicky existují a oddělují vlastní obrobek od okolního prostředí. Je chybné předpokládat, že povrch obrobku má čistě mechanický charakter. Ve skutečnosti je stejně správná představa i elektromagnetického povrchu obrobku. [92]

Uvedeme některé další definice, které jsou v souladu s ISO:

- **reálný mechanický povrch** je mezní oblast určená kulovým dotykem s poloměrem r ; geometrické místo středů ideálního kulového dotyku, též s poloměrem r , odvalujícího se po reálném povrchu obrobku,
- **reálný elektromagnetický povrch** je geometrické místo efektivních odrazových bodů reálného povrchu obrobku, elektricko-magnetického záření se stanovenou vlnovou délkou.

Norma ISO 4287 je v současnosti hlavní platnou mezinárodní normou, která uvádí pojmy, definice a parametry povrchu. Tyto parametry odpovídají různým částem signálu, který se generuje dotykem.

Parametry se označují různými písmeny:

- P** – primární profil,
- R** – profil drsnosti,
- W** – profil vlnitosti.

6.1. Hlavní parametry hodnocení

Výška profilu $Z(x)$ – je to hodnota souřadnice $Z(x)$ v libovolném místě x . [92]

Místní sklon dZ/dX – je to sklon profilu v místě x , obr. 6.1.

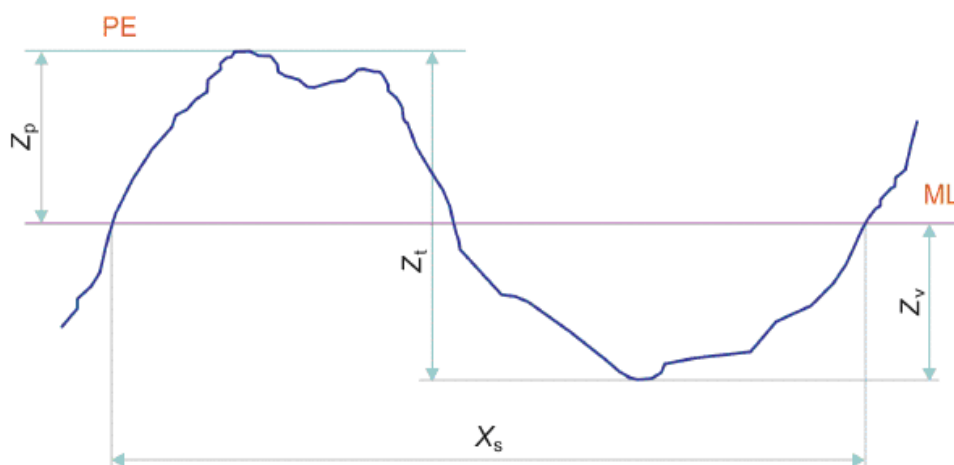


Obr. 6.1 Místní sklon [92]

Výstupek profilu – je část profilu spojující jeho dva sousední průřečníky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem ven z materiálu.

Prohlubenina profilu – je část profilu spojující jeho dva sousední průřečníky se střední čarou profilu, uvažovaná směrem do materiálu.

Prvek profilu - je výstupek profilu a s ním spojená prohlubenina profilu, obr. 6.2.



Obr. 6.2 Prvek profilu [92]

PE – prvek profilu, ML – střední čára

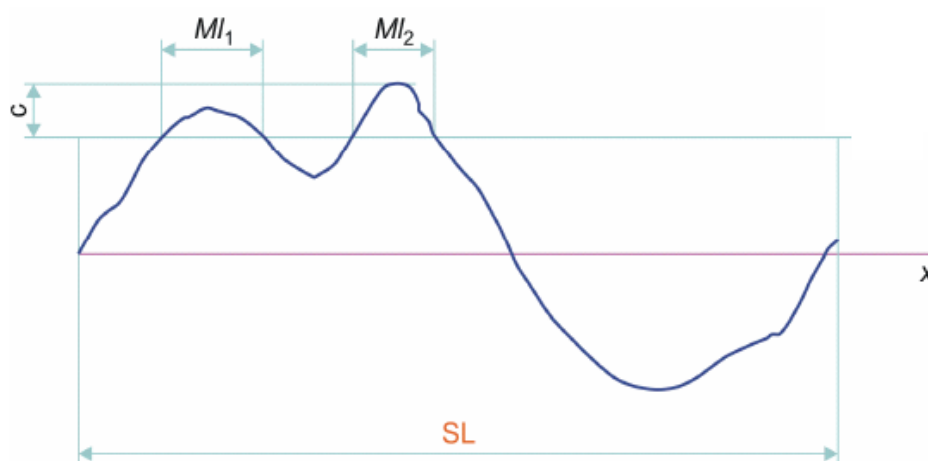
Výška výstupku profilu Z_p – je vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejvyšším bodem výstupku profilu, obr. 6.2.

Hloubka prohlubeniny profilu Z_v – je vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejnižším bodem prohlubeniny profilu, obr. 6.2.

Výška prvku profilu Z_t – je součet výšky výstupku a hloubky prohlubeniny prvku profilu, obr. 6.2.

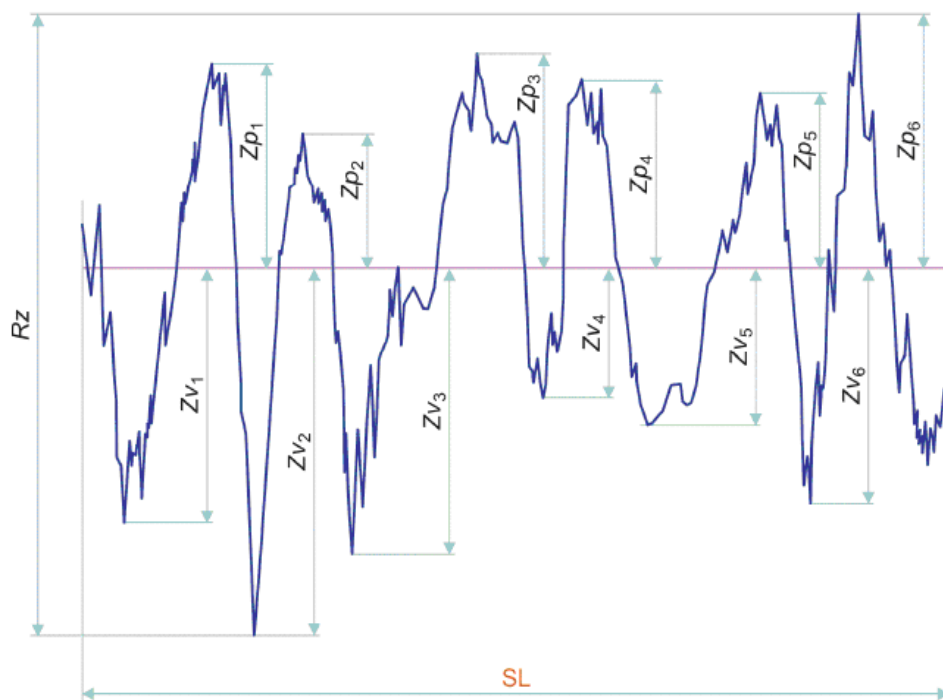
Rozestup prvku profilu X_s – je délka úseku střední čáry profilu obsahující prvek profilu, obr. 6.2.

Délka materiálu profilu na úrovni c $MI(c)$ – je součet délek úseků vytvořených řezem rovnoběžným se střední čarou profilu na úrovni c oddělením výstupků profilu v rozsahu základní délky, obr. 6.3, [92].



Obr. 6.3 Délka materiálu [92]
 $MI(c) = MI_1 + MI_2$, SL – základní délka

Výška největšího výstupku profilu P_p , R_p , W_p – je největší výška výstupku profilu Z_p v rozsahu základní délky, obr. 6.4. [92]



Obr. 6.4 Základní délka (příklad profilu drsnosti) [92]

Hloubka největší prohlubeniny profilu Pv, Rv, Wv – je největší hloubka prohlubeniny profilu Zv v rozsahu základní délky.

Největší výška profilu Pz, Rz, Wz – je součet největší výšky výstupku Zp a největší prohlubeniny profilu Zv v rozsahu základní délky.

Střední výška prvku profilu Pc, Rc, Wc – je střední hodnota výšek prvků profilů Zt v rozsahu základní délky

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad (6.1)$$

Celková výška profilu Pt, Rt, Wt – je součet výšky největšího výstupku profilu Zp a hloubky největší prohlubeniny profilu Zv na vyhodnocované délce. [92].

Střední aritmetická odchylka profilu Pa, Ra, Wa – je střední aritmetická hodnota absolutních odchylek profilu Z(x) v rozsahu základní délky

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (6.2)$$

6.2. Parametry pro 3D hodnocení

Amplitudové parametry využívané při prostorovém hodnocení, odvozené z 2D

parametrů podle ISO 4287:

- S_e – průměrná aritmetická odchylka povrchu
- S_q – průměrná kvadratická odchylka povrchu
- S_t – celková výška povrchu
- S_p – maximální výška výstupků
- S_v – maximální hloubka prohlubenin
- S_z – výška určená z deseti bodů povrchu
- S_{sk} – šikmost křivky rozdělení výšek
- S_{ku} – špičatost křivky rozdělení výšek

Plošné a objemové parametry:

- S_{mr} – nosný průměr v dané hloubce – udává se s mezní hodnotou a referenčním údajem.
- S_{dc} – výškový rozdíl řezů povrchem – je určovaný dvěma mezními hodnotami udávanými v %. [9]
- S_{mvr} – střední hodnota poměru nezaplňného objemu – objem materiálu povrchu, který se získá měřením prostoru mezi imaginární horizontální rovinou přeloženou v největší hloubce profilu povrchu a body povrchu.
- S_{mmr} – střední hodnota poměru materiálového objemu – celkový objem materiálu povrchu, který se získá měřením prostoru mezi imaginární horizontální rovinou přeloženou v největší hloubce profilu povrchu a body povrchu, [12], [92].

Prostorové parametry:

- SP_c – počet výstupků na ploše – hustota výstupků mezi dvěma úrovněmi c_1 a c_2 ,
příčemž c_1

a c_2 jsou mezní roviny definované ve vztahu ke střední rovině 0. c_1 musí být nižší než c_2 . Výstupek se bere v úvahu jen tehdy, když překročí c_2 a přejde pod c_1 .
Parametr je vyjádřený počtem výstupků na mm^2 . [9]
- S_{ds} – hustota výstupků povrchu – počet výstupků na mm. Za výstupek je považovaný bod, který je vyšší než 8 sousedních bodů.
- S_{el} – délka odpovídající nejrychlejšímu poklesu autokorelační funkce – vyjadřuje množství vlnových délek profilu povrchu. Vysoké hodnoty ukazují na vysoké vlnové délky.

- S_{tr} – průměrný aspekt textury povrchu – průměr nejkratší délky poklesu k největší délce. Pohybuje se od 0 do 1. Pokud se hodnota blíží k 1, povrch je izotropní, pokud se blíží k 0, tak je anizotropní.
- S_{td} – směr textury povrchu – stanovuje hlavní úhel směru textury povrchu. Má význam, pokud je hodnota menší než 0,5. Úhel směru se vyjadřuje ve stupních od -90° do 90° .
- S_{fd} – fraktální dimenze povrchu – ukazuje tvarovou složitost profilu povrchu s využitím teorie fraktální geometrie. Dimenze povrchu se pohybuje mezi dvěma hodnotami při rovinné ploše a třemi hodnotami při složitém tvaru povrchu. Při některých tvarech povrchů se nedá fraktální dimenze stanovit, [92].

Hybridní parametry, které spojují kritéria amplitudových a prostorových parametrů:

- S_{dq} – kvadratický sklon povrchu
- S_{sc} – aritmetický průměr zakřivení výstupků povrchu
- S_{dr} – průměrná rozvinutá styková plocha

Funkční parametry, které charakterizují funkční aspekty povrchu:

- v_{Sk} – hloubka drsnosti jádra – je to rozšířený 2D parametr R_k
- S_{pk} – redukovaná výška výstupků – rozšířený 2D parametr R_{pk}
- S_{vk} – redukovaná hloubka prohlubenin – rozšířený 2D parametr R_{vk}
- S_{r1} – horní materiálový průměr
- S_{r2} – dolní materiálový průměr
- S_{e1} – horní plocha (trojúhelníka odpovídající výstupkem)
- S_{s2} – dolní plocha (trojúhelníka odpovídající prohlubeninám)

Parametry R_k

- S_{bi} – index únosnosti
- S_{ci} – index udržení kapaliny v jádru
- S_{vi} – index udržení kapaliny v prohlubeninách

Parametry SURFSTAND

- $V_m(h)$ – objem materiálu v dané hloubce
- $V_v(h)$ – nevyplněný objem v dané hloubce
- V_{mp} – objem materiálu výstupků
- V_{mc} – objem materiálu jádra
- V_{vc} – nevyplněný objem jádra
- V_{vv} – nevyplněný objem prohlubenin

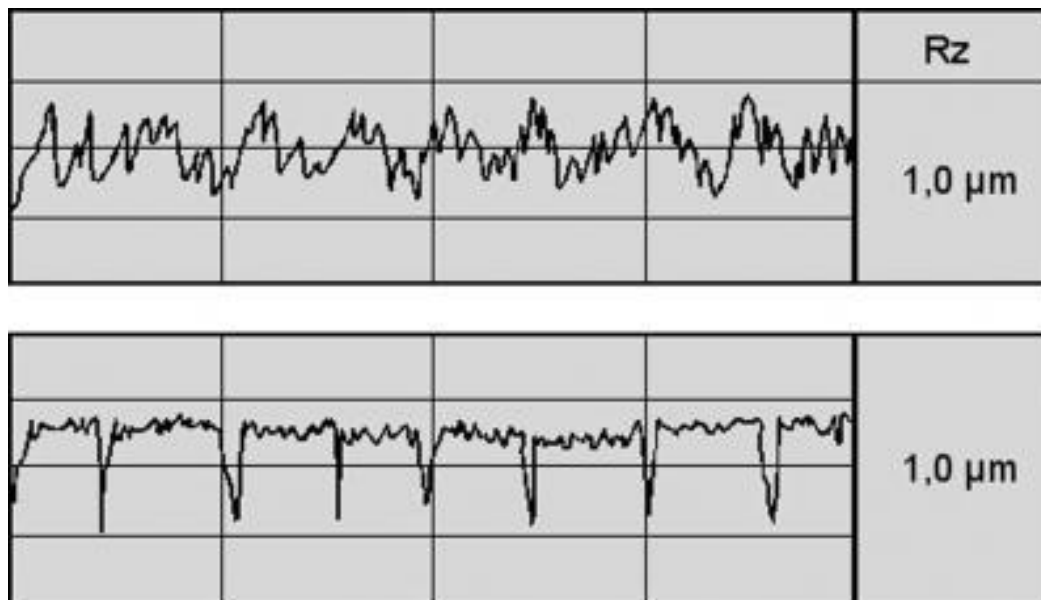
Parametry rovinnosti pro povrch vyrovnaný s využitím metody nejmenších čtverců a filtrovaný filtrem s nízkou propustností:

- FLTt – odchylka rovinnosti povrchu
- FLTp – odchylka rovinnosti vztahovaná na výstupek
- FLTv – odchylka rovinnosti vztahovaná na prohlubeninu
- FLTq – kvadratická odchylka rovinnosti [12], [92].

6.3. Srovnání 2D a 3D hodnocení

V současné době jsou stále vyvíjené a modernizované 2D i 3D metody hodnocení povrchu. Z hlediska 2D hodnocení jsou stále ve velké míře využívány parametry Ra a Rz, ať už z důvodu lehkého měření průměrných hodnot drsnosti, mezinárodní normalizace, nebo v důsledku srozumitelnosti a faktu, že celá metrologie je na těchto parametrech od začátku postavená. Z hlediska měření drsnosti jsou parametry Ra, Rz stále důležité, ale při posuzování funkčních vlastností jsou prakticky nepoužitelné.

Důvodem je, že různé povrchy mohou mít stejné průměrné hodnoty drsnosti, ale jejich předpoklady pro plnění funkcí jsou úplně jiné. Např. horní profil na obr. 6.16 má lepší předpoklady pro funkci kluzného ložiska než dolní profil. [10]

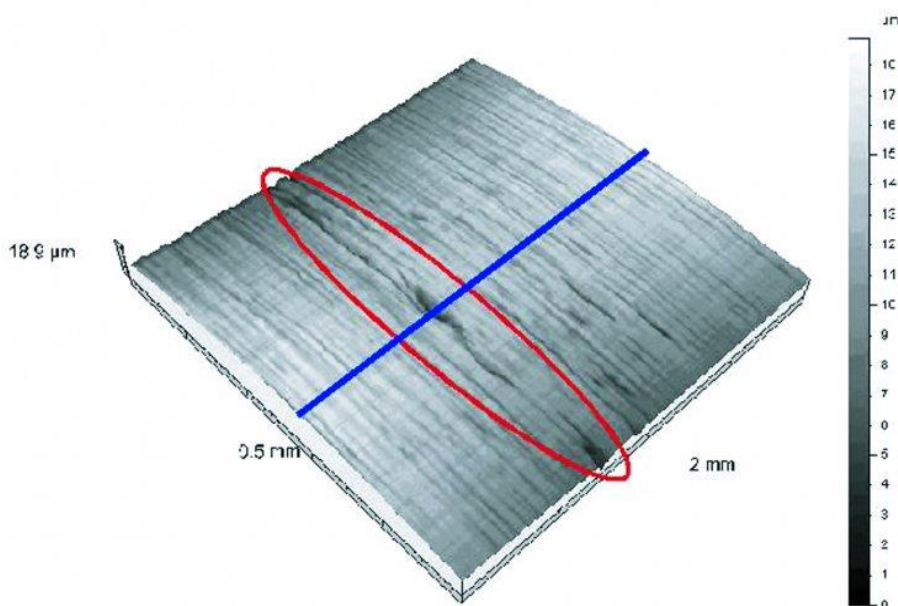


Obr. 6.5 Měření dotykovým profilometrem hodnoty Rz, s rozdílnou funkčností [7]
2D parametry tedy nedokážou poskytovat informace o rychlosti opotřebení jednotlivých textur povrchu, o schopnostech udržet mazivo, či o náchylnosti na vznik trhlin způsobených stopami po obrábění. Tedy pro plnohodnotné uplatnění některých

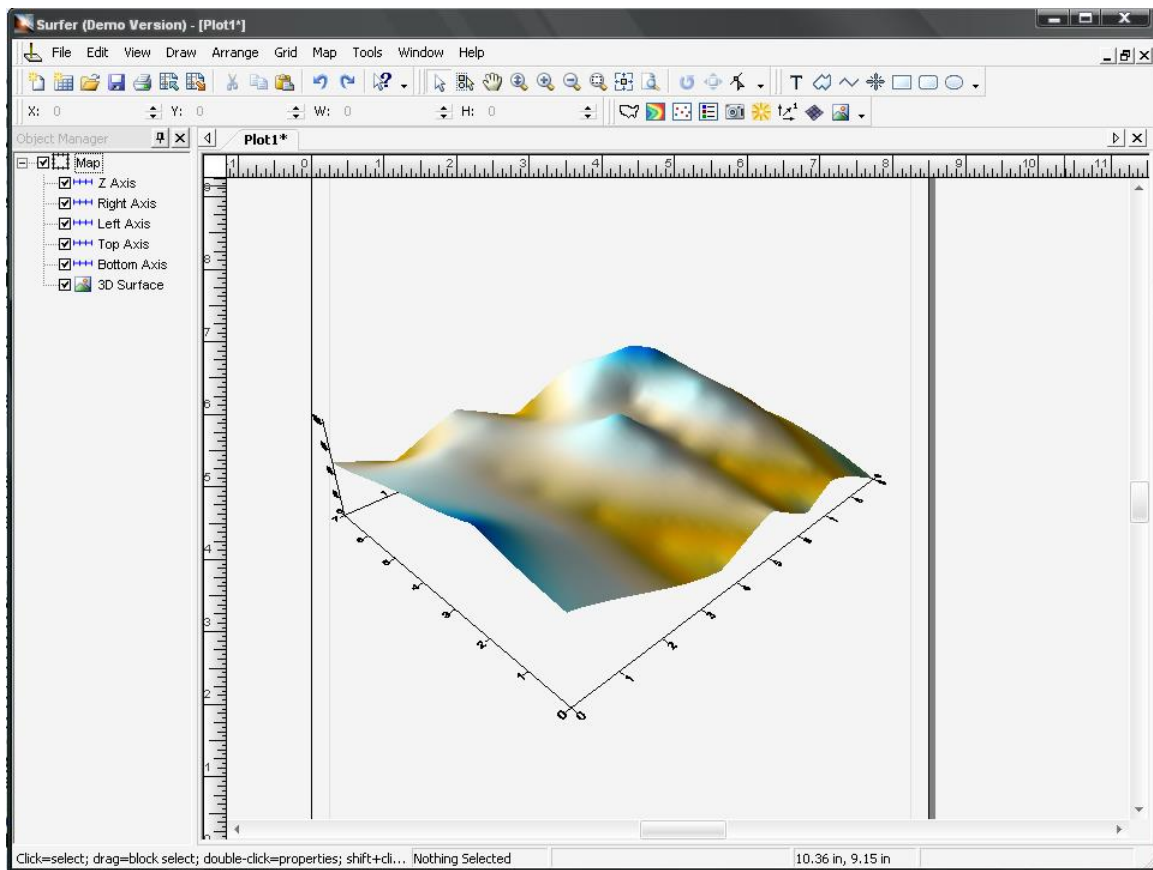
parametrů potřebují krom číselné hodnoty i další informace, jako je právě orientace stop po obrábění. Parametr, který tuto orientaci popisuje, se podobá víc vektoru než skaláru. V případě dvou povrchů s výraznými stejně vysokými výstupky, které budou na jednom povrchu orientované vpravo a na druhém vlevo, budou parametry R_a , R_q stejné. Směr relativního pohybu vzhledem k zatěžovaným hranám bude ale různý. Pokud by byly takovéto povrchy namontované ve špatném směru, mohla by nastat funkční porucha. Důležité je věnovat pozornost nejen jednomu povrchu, ale celému systému, který je tvořený několika povrchy. Posuzování funkce povrchu tedy nemůže být odděleno od systému. [10]

Největší slabinou 2D hodnocení je skutečnost, že výsledky jsou omezené a závislé na poloze kontrolovaného řezu. Měření často ukazuje místo s výraznějšími výškovými odchylkami povrchu. Z jednoho profilu však není možné posuzovat charakter a rozsah větších odchylek, které představují defekty nebo poškození povrchu. 3D měření zabezpečuje mnohem více údajů, což zvyšuje objektivitu hodnocení stavu povrchu. Axonometrické hodnocení umožňuje přesně specifikovat rozsah výraznějších odchylek.

V praxi je při analýze rozměrnějšího defektu povrchu často výhodné kombinovat 2D a 3D hodnocení. Při 3D analýze hluboké trhliny, jejíž hloubka se nedá přesně stanovit, je výhodné v tomto místě zaznamenat jeden profil řezu, který umožní vyhodnocení rozměrů trhliny a detailní zaznamenání jejího tvaru, čímž se získají detailnější informace pro rozhodování o vlivu trhliny na funkci povrchu, obr. 6.17.



Obr. 6.6 3D zobrazení povrchu s trhlinou s vyznačením následného 2D rezu [10]



Obr. 6.7 Ukázka 3D zobrazení povrchu v programu Surfer 9 [92]

7. Měřicí přístroje a programy

Výrobci měřicí techniky při vývoji nových produktů kladou velký důraz na zpracování naměřených dat. K měřicím zařízením jsou proto dodávány i moderní speciální počítačové programy. Často jsou tyto programy kompatibilní jen s určeným měřicím přístrojem, přičemž tato kompatibilita platí i opačně. Taková řešení jsou charakteristická pro systémy, ve kterých software nejen vyhodnocuje naměřené údaje, ale provádí i řídicí, monitorovací a kontrolní funkce.

7.1. Optosurf QS 500

Měřicí zařízení Optosurf QS 500, obr. 6.18, využívá metodu rozptýleného světla. Princip této metody spočívá v ozařování povrchu světelnou skvrnou průměru 0,9 mm. Reflektované rozptýlené světlo je snímáno detektorem. Rozptýlení je statisticky vyhodnocováno a výpočtem se získává optický parametr drsnosti S_0 , který zhruba odpovídá parametru úhlu profilu R_dq . Tento parametr vyhodnocuje vertikální i horizontální souřadnici profilu. Měření není závislé na reflexi plochy, tedy tmavé plochy mají stejnou hodnotu drsnosti jako plochy světlé. Je možné měřit všechny funkční plochy na součástkách. Senzor dokáže spolehlivě měřit i v drsných provozních podmínkách a také se dobře vyrovnává s vibracemi.

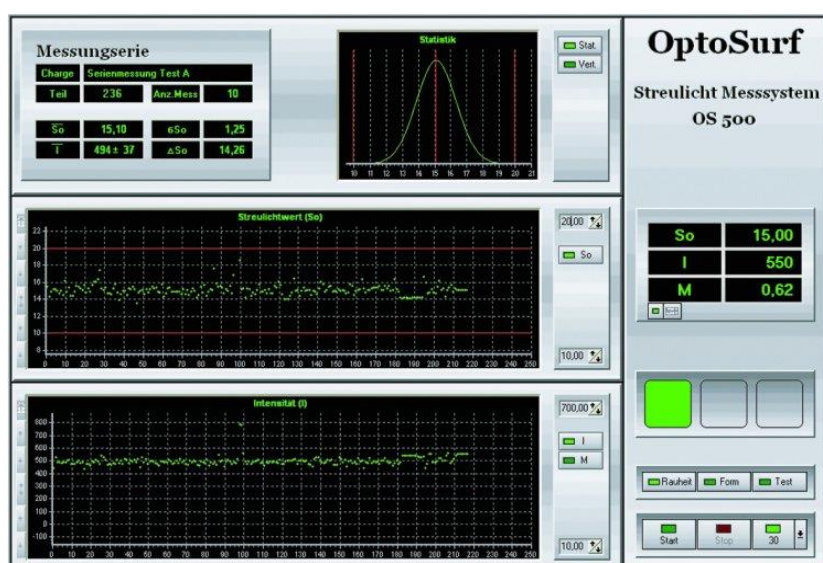


Obr. 6.8 Měření senzorem QS 500 [7]

Měření tímto systémem se používá jako doplňkové měření k tradičním dotykovým měřicím metodám. Ve srovnání s nimi však dosahuje mnohem větší rychlosti měření, která se pohybuje nad hranicí 1000 měření za sekundu. Rychlost měření však není hlavním parametrem, který staví metodu rozptýleného světla před dotykové metody. V praxi je často třeba znát i směr stop nástroje po obrábění nebo rozpoznat způsob opracování. Příkladem může být broušení a finišování klikových hřídel při výrobě motorů. Výsledkem broušení je struktura vrypů s profilovými špičkami. Při finišování se tyto špičky částečně odstraní, čímž se výrazně zlepší funkční vlastnosti, sníží se tření a opotřebení. Metodou rozptýleného světla lze jednoznačně rozlišit broušené plochy od finišování, zatímco při dotykových metodách existuje oblast překrývání, v níž se tyto plochy rozeznat nedají. [7]

7.2. Software SW 500

Měřicí senzor QS 500 se používá se softwarem SW 500, obr. 6.19, který je určen pro sběr naměřených hodnot, řídí senzor a ukládá tyto hodnoty do SQL datové banky.



Obr. 6.9 SQL datová banka pro ukládání výsledků měření [7]

Vymezením hraničních hodnot lze dosáhnout plně automatizované výroby, přičemž díly přesahující hraniční hodnoty jsou automaticky vyřazovány. Jednoduché statistické funkce vypočítávají z jednotlivých naměřených hodnot střední odchylku, standardní odchylku a maximální odchylku. K tomu je vedena statistika všech nástrojů ve výrobě, čímž je možné dokumentovat průběh výrobního procesu. Senzor na rozptýlené světlo kontroluje výrobní proces a dodává průběžné informace o stavu pracovního stroje. To umožňuje včasné rozpoznání chyb, jako výpadek chlazení, poškození ložisek, opotřebení výrobního nástroje apod.

7.3. Taylor Hobson Talysurf CLI

Měřicí systém určený pro rychlé prostorové měření a hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Umožňuje měření ve třech osách dotykovou i bezdotykovou metodou a následnou analýzu údajů z jednoho řezu profilu i profilu plochy povrchu. Při dotykové metodě se používá indukční dotykový snímač, při bezdotykové laserová triangulační sonda a CLA konfokální snímač. Tyto metody zajišťují prakticky neomezené možnosti při měření struktury povrchu z hlediska jakostí, přesnosti a druhu materiálu. Přístroj je vybaven automatickým posuvem ve všech osách s rychlostí do 30 mm/s. Při dotykovém indukčním měřítku je to 3mm/s. Při měření je možné použít 4 různé měřící hlavy.

Přestože je tento přístroj speciálně konstruován pro měření 3D, obsahuje také mechanické a analytické prostředky pro komplexní měření 2D. Takže je možné jediným přístrojem monitorovat výzkum a vývoj, provádět studijní analýzy, rutinní inspekce či řídit výrobní procesy, obr. 6.20. [9]

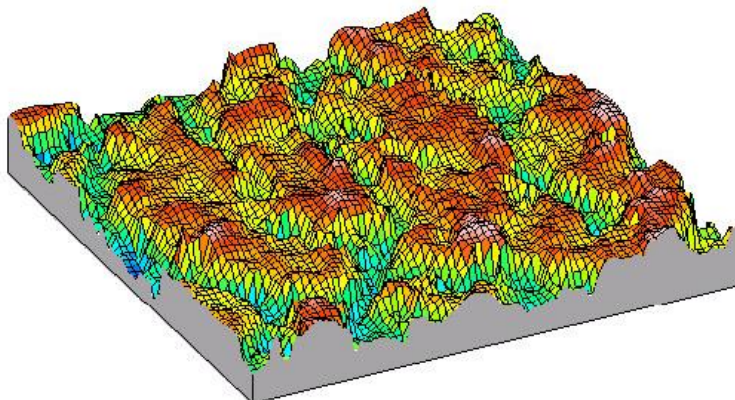


Obr. 6.10 Talysurf CLI 2000 [92]

7.4. Program Talymap

Program Talymap je určen ke zpracování prostorových charakteristik povrchu z údajů získaných dotykovým i bezdotykovým měřením. Umožňuje zobrazit sledovaný povrch několika způsoby, mimo jiné i axonometrickou projekcí s volitelným úhlem pohledu,

barevným rozlišením výšek a s nastavitelným zvětšením celku nebo vybrané části povrchu. Je možné měřit ve třech osách, zobrazit inverzi profilu či simulaci opotřebení povrchu. Jednou z největších výhod tohoto programu je jeho univerzálnost z hlediska zpracování dat z různých měřících zařízení, obr. 6.21.



Obr. 6.11 Zobrazení povrchu v programu Talymap [92]

Pro prostorové hodnocení povrchu se využívají amplitudové parametry, parametry popisující materiálový poměr povrchu, parametry vztahující se k nerovnosti a objemové parametry. Dohromady je využíváno 120 parametrů v režimu 2D a 40 parametrů v 3D, přičemž na 3D profilu je možné v libovolném směru označit jeden profil, který je následně možné vyhodnotit 2D funkcemi. K programu Talymap existuje i množství progresivních specializovaných modulů, které jsou určeny pro vyhodnocování parametrů a vlastností povrchu důležitých pro jejich konkrétní funkci, jako např. opotřebení, poškození, eroze povrchu.

7.5. Modul Textured Surfaces

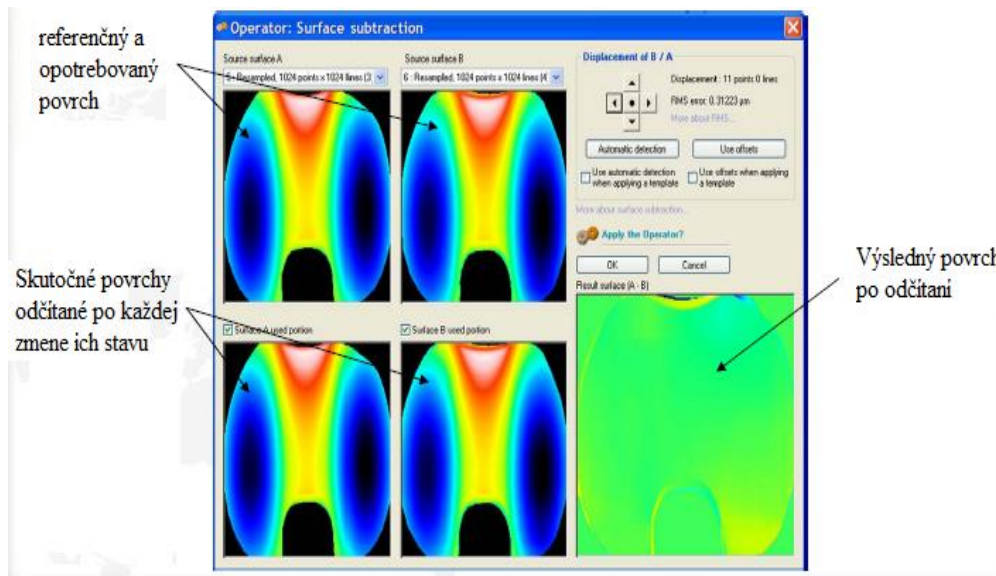
Tento modul je určen na 3D hodnocení povrchu komplexního podkladového materiálu. Má na starosti výpočet ploch a objemů, maximální a průměrné výšky výstupků a prohlubní vzhledem k výškovému limitu zadanému uživatelem. Tyto údaje jsou důležité z hlediska určení schopnosti povrchu udržet mazivo nebo k predikci životnosti funkčního povrchu při opotřebení. [9]

Pro grafické zobrazení výsledků se používá funkce "Coloured Binary Image", která využívá 256 barev k vytvoření stupnice výšek, nebo 2 barvy při rozdělení povrchu na oblasti nad a pod zvolenou výškovou mezní hodnotou.

7.6. Program Talymap Wear

Slouží k 3D analýze opotřebení povrchu. Před analýzou umožňuje filtraci 3D údajů. Na

výběr je mimo jiné i Gaussova metoda, spline metoda, tříbodová metoda nebo metoda nejmenších čtverců. Filtrace spočívá v odstranění krátkých vlnových délek, což zlepšuje stabilitu a opakovatelnost. Opatření povrchu se vyhodnocuje porovnáním povrchu před a po opotřebení, obr. 6.22.



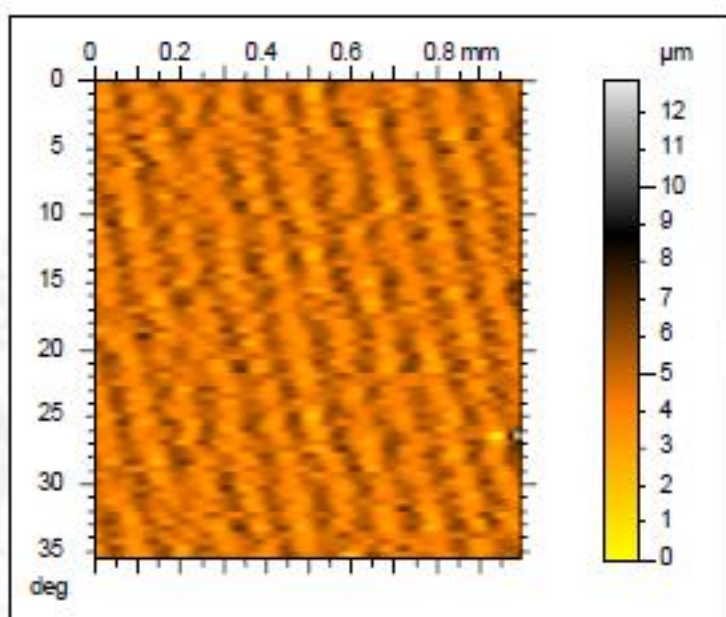
Obr. 6.12 Analýza opotřebení povrchu programem Talymap Wear [92]

7.7. Program Step Height Analysis

Slouží ke stanovení a hodnocení vertikálních rozměrů, např. tloušťky tenkých povlaků, převýšení nebo hloubku mělkých vybrání. Tato analýza je důležitá při nanášení nebo úběru materiálu mechanickými, chemickými nebo jinými metodami. Program dokáže vypočítat průměrnou výšku vybrané oblasti nebo rozdíly ve výškách mezi více oblastmi. Při výběru dvou bodů plochy stanoví jejich vodorovnou vzdálenost, vzájemné převýšení a sklon. Pro výpočty lze použít několik způsobů, včetně interaktivní manuální metody.

7.8. Program Twist

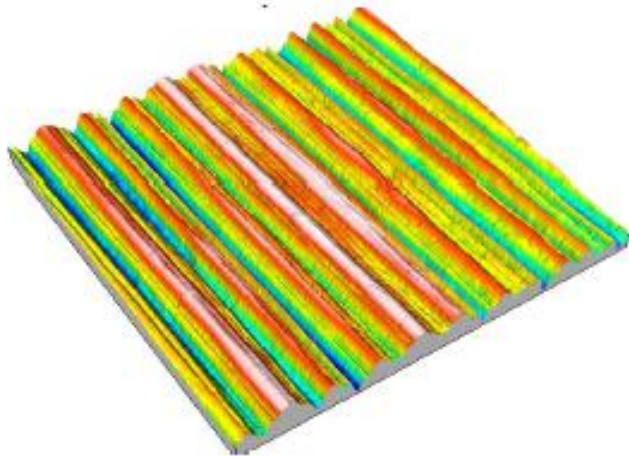
Program na analýzu prostorové textury povrchu využíváný při hodnocení drsnosti a kruhovitosti. Po získání dostatečného množství dat z měření se vytvoří prostorová mapa povrchu. Vlastní analýza textury je pak rozdělena na filtraci a stanovení parametrů. Analýzou dominantní vlnové délky se určí typ filtru a velikost mezní vlnové délky. Pokud se dominantní vlnová délka nenajde, použije se Gaussův filtr a mezní vlnovou délku si zvolí uživatel. V případě vyhodnocení jedné dominantní vlnové délky se údaje zpracovávají filtrem ZBP (Zero Band-Pass) a hodnota mezní vlnové délky je rovna velikosti dominantní vlnové délky, obr. 6.23. [92]



Obr. 6.13 Ukázka filtrovaného povrchu [92]

Údaje profilu povrchu se poté zpracovávají Fourierovou transformací, přičemž se vyhodnocují tyto základní parametry: vlnová délka povrchových stop v axiálním směru, frekvence a směr stop v obvodovém směru, průměrná výšková amplituda. Ze základních

parametrů se potom odvozují další: průměrná hodnota průřezu, gradient a úhel. Analyzovaný povrch je poté možné zobrazit axonometrickými pohledy, obr. 6.24.



Obr. 6.14 Axonometrický spojitý obraz obrobeneho povrchu [92]

7.9. Mitutoyo Surftest SJ-400

V tomto případě jde o ruční přístroj určený k měření drsnosti, vlnitosti a primárního profilu. Přístroj má vlastní displej pro zobrazování zvolených parametrů. Umožňuje automatickou kalibraci, přestavení sklonu, měření vzhůru nohama, uložení měřicích podmínek. Obsahuje integrované statistické funkce pro vyhodnocení, ale je zde také možnost připojení k vyhodnocovacímu softwaru Surfpak-SJ, obr. 6.25.

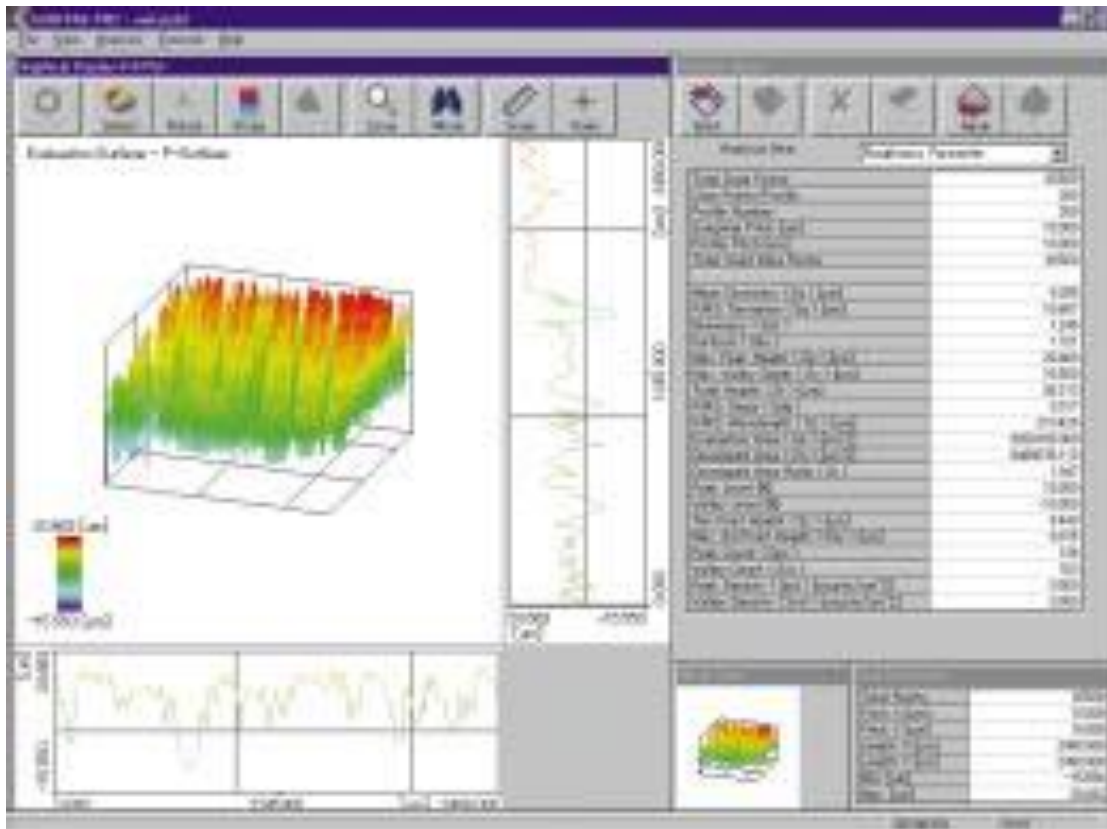


Obr. 6.15 Surftest SJ-400 [92]

7.10. Software Surfpak SJ/SV/PRO

K přístrojům Surftest je dodáván software Surfpak SJ/SV/PRO, který zajišťuje ovládání přístroje, vyhodnocení naměřených hodnot a zpracování dokumentace. Tento program

dokáže zpracovat velký počet parametrů drsnosti zahrnutých v normách DIN, ISO, JIS, Motif a dalších. Umožňuje různé typy grafických analýz, 3D topografii, zobrazení průřezu profilu, atd., obr. 6.26.



Obr. 6.16 Ukázka vyhodnocení měření programem Surfpack-PRO [92]

7.11. Program Surfer 9

Na rozdíl od předchozích programů, Surfer 9 není spojen s žádným měřicím zařízením a není ani primárně specializovaný na vyhodnocování parametrů drsnosti, či vlnitosti. Dokáže ale transformovat XYZ údaje na obrysové mapy, 3D povrchové mapy, 3D drátové modely, stínované reliéfy, post mapy, vektorové mapy nebo základní mapy a také umí spočítat průřezy, oblasti, či objemy. Vstupní údaje mohou být importovány z velkého množství různých typů souborů, obr. 6.27.

8. Materiály v současné praxi výroby automobilů I.

Nové záměry v rozvoji automobilového průmyslu jsou koncipované následovně: zvyšování bezpečnosti posádky, snižování spotřeby paliva, nárůst komfortu a vybavenosti. V perspektivě rozvoje automobilů střední třídy, ekonomické studie vytyčily trend, dosáhnout v roce 2020 spotřeby paliva 2,6 l/100 km. Dosažení takto definovaných kontrastních požadavků je možné jen pomocí snížení hmotnosti automobilu. Zatímco automobil měl v roce 1960 hmotnost asi 2400 kg, hmotnost automobilu střední kategorie v roce 2000 dosahovala hodnotu cca 1450 kg, přičemž v roce 2020 by měla poklesnout na hodnotu 870 kg, což činí v porovnání s rokem 2000 snížení o 40%.

Analýza hmotnosti současného automobilu střední třídy poukázala na následné poměrné rozložení hmotnosti základních skupin a vybavení: karosérií – 26 %, podvozek 23 %, motor 21 %, tekutá média 5 %, elektrická zařízení 8 % a ostatní 17 %.

Průměrná hmotnost evropského vozidla v roce 2000 byla 1100 kg v této materiálové skladbě: ocel a litina (62 %), neželezné kovy (Al, Mg) a jejich slitiny (8 %), plasty (10 %), guma (5 %), sklo (3 %), textil a protihluková izolace (4 %), kapalina a jiné materiály (8 %).

Z předmětných analýz vyplývá, že 62 % z celkové hmotnosti osobního automobilu dnes připadá na ocel, resp. litinu a 30 % z výrobní ceny automobilu představují náklady na materiál. Důsledkem studií je, že intenzivní pozornost automobilových konstruktérů se zaměřuje především na redukci hmotnosti nejpoužívanějšího materiálu - oceli, která tvoří základ konstrukčních částí (karosérie, podvozková skupina, motor, atd.). Chrysler uvádí pro budoucnost následující záměry v poměrném snižování hmotnosti automobilu: karosérie (-50 %), podvozek (- 50 %), motor (- 10 %), palivový systém (- 55 %).

Na výzvy vyplývající z ekonomických studií, jakož i požadavků automobilových konstruktérů a výrobců, reagovalo hutnictví výzkumem a vývojem materiálů a technologií ve dvou zásadních směrech: materiály a technologie pro stavby ultralehkých karosérií na bázi Al, resp. na ocelovém základě. Vzhledem k tomu, že světová tendence se přiklání s ohledem na nutnou spotřebu energií, potřebných na primárně metalurgické výrobní technologie, na stranu výzkumu a vývoje v ocelových materiálech, bude v dalších částech pozornost zaměřená jen tímto směrem podle [72], [73], [74].

Rozvoj automobilového průmyslu, automatizací výrobních procesů, zaměřujících se na snižování hmotnosti, zvyšování bezpečnosti a korozní odolnosti karosérií automobilů při zvyšování produktivity výroby a snižování výrobních nákladů. Z konstrukčního hlediska a užitkových vlastností finálního výrobku je cílem snížit tloušťky plechů, což předpokládá zvýšení jejich pevnosti a dynamickou nosnost. V současnosti vyráběné ocelové plechy a pásy se dají rozdělit z několika hledisek:

- podle způsobu výroby oceli:
 - odlévané klasicky,
 - odlévané kontinuálně,
 - odlévané ve vakuu
- podle způsobu válcování:
 - válcované za tepla,
 - válcované za studena,
- podle ochrany povrchu:
 - povrchově neupravené (černé),
 - povrchově upravené,
- podle způsobu použití:
 - konstrukční,
 - vhodné k tváření,
 - obalové
 - pro elektrotechnický průmysl
- podle pevnostních a plastických vlastností, chemického a strukturního složení:
 - texturované nízkouhlíkové hliníkem uklidněné oceli (LC, ULC, SULC),
 - oceli bez intersticií (IF oceli),
 - oceli vytvrditelné při vypalování laku (BH oceli),
 - dvojfázové oceli (DP oceli),
 - komplexní fázové oceli (CP oceli)
 - vysoce pevné mikrolegované oceli (HSLA)
 - oceli s transformační indukovanou plasticitou (TRIP oceli)
 - martenzitické oceli (M oceli) [71]

Vývoj konstrukčních ocelových materiálů pro automobilový průmysl je vyjádřený na obr. 4.2. Klasické vysokopevné oceli se zvýšenou tvářitelností za studena řady ZStE byly v 80. letech doplněné o fosforem legované oceli řady ZStE-P a dvoufázové oceli – DP. V polovině 80. let byly vyvinuty IF (interstitial free) oceli a BH (bake hardening) oceli. Od 90. let jsou vyvíjené i CP (complex phase), RA (residual austenite) oceli s TRIP efektem, SULC (super ultra low carbon) oceli a MS (martensite) oceli. [71], [82].

- Požadavky na ocelové plechy pro automobilový průmysl je možné shrnout do následujících bodů:
 - Pevnostní a plastické vlastnosti
 - Technologická tvářitelnost
 - Svařitelnost
 - Korozní odolnost
 - Vhodný povrch pro povrchové úpravy
 - Nízká hmotnost

8.1. Plechy a pásy z nízkouhlíkových ocelí určené na tažení za studena

Ocelové plechy se vyrábějí válcováním za studena i válcováním za tepla. Z hlediska zpracovaného množství představují podstatnou část produktů plechy válcované za studena. Dodávají se ve formě svitků a tabulí s tloušťkou 0,20 až 2,00 mm. Podle stupně vhodnosti na tvářeni jsou ocelové plechy válcované za studena rozdělené do pěti skupin [76]:

- MT - jakost vhodná na mírné tažení (CQ)
- ST - jakost vhodná na střední tažení (DQ)
- HT - jakost vhodná na hluboké tažení (DQ)
- VT - jakost vhodná na velmi hluboké tažení (DDQ)
- ZT - jakost vhodná na složité tažení (EDDQ)

Nové rozdělení nízko uhlíkových ocelových plechů pro automobilový průmysl SEE J2329 je uvedeno v tab. 8.1. V tabulce jsou rozdělené plechy podle způsobu výroby: válcované za tepla (Hot Rolled Steel) a válcované za studena (Cold Rolled Steel). Jsou uvedeny minimálně požadované vlastnosti, které reprezentují mez kluzu v tahu (Yield) a minimální hodnota exponentu deformačního zpevnění n .

Tab. 1 Rozdělení nízko uhlíkových ocelových plechů pro automobilový průmysl [71]

Old AISI Description		New SAE Classification		Property
Hot Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 180-290 MPa n value: 0.16 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J2339	Grade 3	Yield: 180-240 MPa n value: 0.18 min.
Cold Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 140-260 MPa n value: 0.16 min.
DQ	Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 3	Yield: 140-205 MPa n value: 0.18 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 4	Yield: 140-185 MPa n value 0.20 min.
EDDQ	Extra Deep Drawing Quality	SAE J2329	Grade 5	Yield: 110-170 MPa n value 0.22 min

Nové rozdělení ostatních ocelových plechů pro automobilový průmysl

podle SEE J2340 je uvedeno v tab. 2

Tab. 8.2 Rozdělení ostatních ocelových plechů pro automobilový průmysl [71]

Old AISI Description	New SAE Classification
Cold Rolled Steels	
Dent Resistant (DR)	SAE J2340 Grades 180A, 210A, 250A, 280A Dent Resistant Non Bake Hardenable
Bake Hardenable (BH)	SAE J2340 Grades 180B, 210B, 250B, 280B Dent Resistant Bake Hardenable
High Strength Solution Strengthened	SAE J2340 Grades 300S, 340S High Strength Solution Strengthened
High Strength Low Alloy (HSLA)	SAE J2340 Grades 300X,Y; 340X,Y;380X,Y High strength low alloy 20X,Y;490X,Y;550X,Y
High Strength Recovery Annealed	SAE J2340 Grades 490R, 550R, 700R, 830R High Strength Recovery Annealed
Dual Phase (DP) (HSS)	SAE J2340 Grades DH/DL 500-1000 MPa Tensile Ultra High Strength Dual Phase
Martensitic Grade M, HSS	SAE J2340 Grade M 800-1500 MPa Tensile Ultra High Strength Low Carbon Martensite

8.2. Fyzikálně-metalurgické vlastnosti ocelí při výrobě automobilů

Vlastnosti tenkých ocelových plechů a pásů z nízkouhlíkových ocelí jsou závislé na chemickém složení, způsobu výroby oceli a způsobu výroby plechu. Na ocelové plechy tažných jakostí jsou kladeny přísné požadavky nejen z hlediska mechanických vlastností, ale aj na toleranci tloušťky a na kvalitu povrchu. Tyto faktory ovlivňují strukturu, mechanické a technologické vlastnosti tenkých ocelových plechů tažných jakostí. [71].

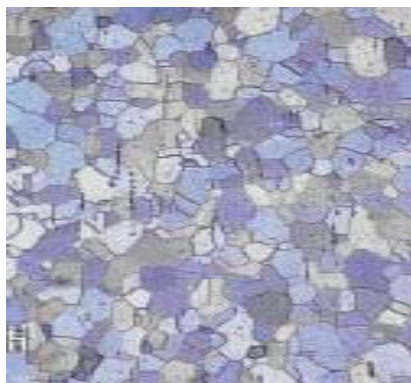
Tenké ocelové plechy tažných jakostí jsou vyráběny z ocelí s nízkým obsahem uhlíku (do 0,1 %). Krom uhlíku obsahuje ocel prvky, které se do ní dostávají nedokonalostí hutnických procesů, nebo je do oceli dodáváme záměrně za účelem úpravy vlastností plechu (Mn, Si, P, S, Cu, Ni, Cr, Mo, O, N, Ti, a další), [90], [91].

Strukturu nízkouhlíkových ocelových plechů tažných jakostí tvoří ferit a cementit. Ferit v binární soustavě Fe – C je ohraničený tuhým roztokem uhlíku v železe δ . Ferit v ocelích však rozpouští i jiné prvky, s kterými vytváří buď substituční roztok (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W), nebo adiční tuhý roztok (N, H, O). Ferit je měkká strukturní fáze, proto oceli nízkouhlíkové (feritické) jsou měkké, mají nízkou mez skluzu a pevnosti a vysoké hodnoty tažnosti a kontrakce. Jsou to oceli s vysokou odolností vůči křehkému porušení a dobrými plastickými vlastnostmi. Plastické vlastnosti těchto ocelí jsou závislé na velikosti a tvaru feritického zrna, množství a rozložení nečistot. U ocelových plechů je velikost feritického zrna kompromisem mezi plasticitou a hladkostí povrchu výtažku,

[17], [58].

8.3. Oceli bez volných intersticiálních prvků (IF oceli)

Oceli typu IF jsou určeny pro hlubokotažné tvarově složité díly. Pojmenování pro tyto oceli pochází z anglického interstitial free. V češtině to znamená ocel bez intersticií. Vyznačují se vysokými plastickými vlastnostmi, a proto jsou vhodné pro hluboké tažení. Vysoká tažnost se dosahuje velmi nízkým obsahem intersticiálních atomů, vhodnou velikostí feritického zrna a příznivou texturou vznikající při rekrystalizačním žíhání, obr. 8.1. [71].



Obr. 1 Struktura IF oceli [92]

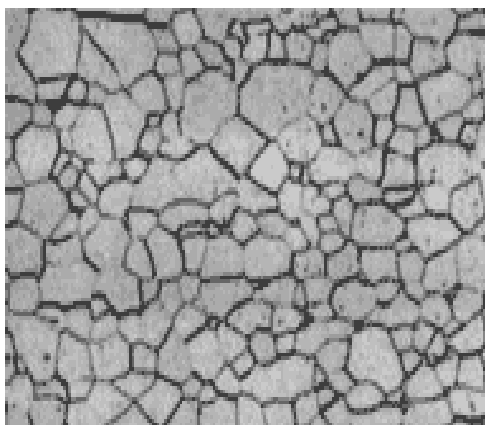
Tyto oceli mají vázané intersticiální prvky (uhlík, dusík) na karbido, nitrido, resp. karbonitridotvorné prvky Al, Ti, Nb, V. Eliminací intersticiálních prvků jejich vázáním na prvky mající k nim vysokou afinitu v průběhu zpracování tekuté oceli, vede k dosažení vynikající lisovatelnosti plechů na finálních výliscích. Volný uhlík v IF ocelích, resp. i v ocelích majících nevázaný uhlík (např. refosforizované oceli) je využitelný pro tzv. bake hardening (BH) efekt [71], [76], [82].

Z metalurgického hlediska IF oceli vyžadují vysokou čistotu a kontrolu morfologie vměstků. V důsledku absence interstického zpevnění mají nízkou mez kluzu (pod 160 MPa) a jsou plně nestárnoucí.

8.4. Oceli Bake hardening (BH oceli)

Pro plechy na výrobu výlisků složitých tvarů lisováním za studena a následující povrchovou úpravou lakováním jsou z hlediska technologického požadované dobrá lisovatelnost a jednotnost vlastností i z hlediska užitkových vlastností výrobku (tuhost a bezpečnost konstrukcí), vysoká pevnost a dynamická únosnost. Tyto požadavky do značné míry splňují výlisky z BH ocelí [71].

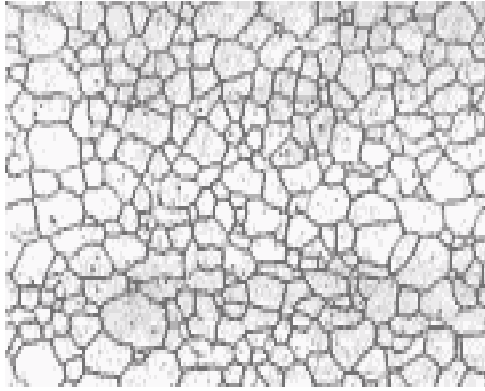
BH oceli mají před lisováním nízkou hodnotu meze kluzu a vysoké parametry plastičnosti. Po vylisování výlisku a nanesení laku dochází v průběhu vypalování laku k deformačně-termickému stárnutí, jehož důsledkem je zvýšení meze kluzu o 30 až 70 MPa a též zvýšení pevnosti. Tím plech získává zvýšenou odolnost vůči deformaci. Aby došlo k BH efektu, musí být splněné zejména fyzikálně-metalurgické podmínky, jako kontrola BH efektu prostřednictvím kontroly rozpuštěného uhlíku ve feritu vyžaduje, aby dusík byl úplně vyvázaný na AlN. Precipitace AlN je kontrolována obsahem Al a N, teplotou svinování, rekrystalizačního žhání a doprovodnými prvky, obr. 2



Obr. 2 Struktura BH oceli [92]

8.5. Mikrolegované oceli (HSLA oceli)

Mikrolegované oceli (HSLA High Strength Low Alloy) s feriticko-perlitickou strukturou jsou jemnozrnné oceli s malou přísadou (max. 0,15%) jednoho prvku nebo kombinace prvků skupiny Al, Ti, Nb, V. Podstata účinků mikrolegujících prvků souvisí s jejich afinitou k uhlíku a dusíku s rozpustností karbidů, nitridů a karbonitridů v austenitu a feritu a mechanismy zpevňování, obr. 3, [71].



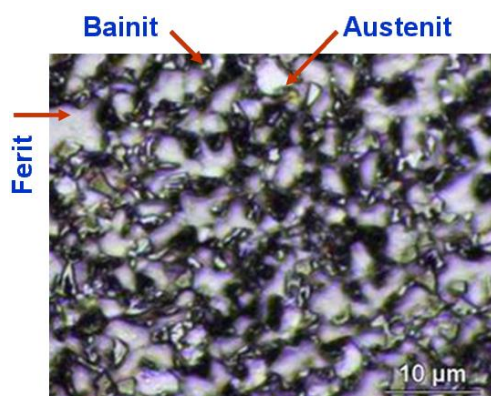
Obr. 3 Struktura mikrolegované oceli [92]

Ocelové plechy mikrolegovaných ocelí se vyznačují jemnou strukturou, zvýšenou svažitelností za studena. Pro mikrolegované oceli je výrazné zpevnění hranicemi zrn (zjemnění zrna) a disperzním zpevněním intermediárních sloučenin (karbidy, nitridy a karbonitridy) mikrolegur.

9. Materiály v současné praxi výroby automobilů II.

9.1. Vícefázové oceli (CP, TRIP oceli)

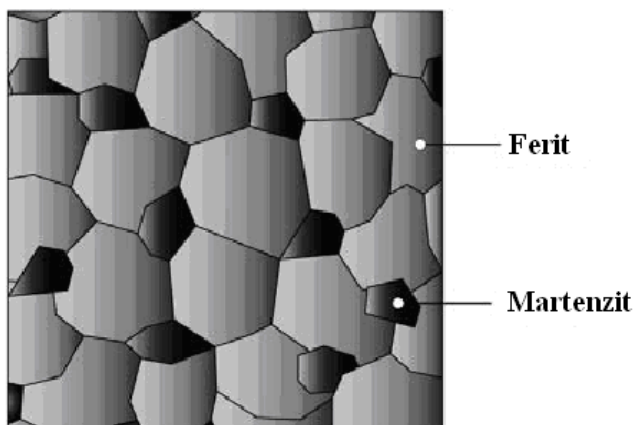
Oceli s efektem transformačně indukované plasticity (TRIP) jsou perspektivním materiálem v oblasti automobilového průmyslu. Vyznačují se dobrými pevnostními vlastnostmi a při tváření za studena vykazují výbornou tažnost. V průběhu jejich plastické deformace dochází k přeměně austenitu na deformačně indukovaný martenzit, který významně přispívá k celkovému zpevnování materiálu. Díky tomu se deformace postupně přerozděluje rovnoměrně po celé deformované zóně a tím nedochází v kritických místech k lokální kumulaci deformace. Podobným způsobem může vznik deformačně indukovaných martenzitických desek zpomalovat šíření trhlin, a tím zlepšovat únavové vlastnosti, obr. 1, [71].



Obr. 1 Struktura TRIP oceli [92]

9.2. Dvojfázové oceli (DP oceli)

Struktura v současnosti vyráběných dvojfázových ocelí používaných k výrobě plechů k tváření za studena je nejčastěji tvořena feritem a martenzitem. Obsah uhlíku se v těchto ocelích doporučuje do 0,13%. Dalšími prvky jsou Mn, Si, případně Mo, Cr nebo V, obr. 2.

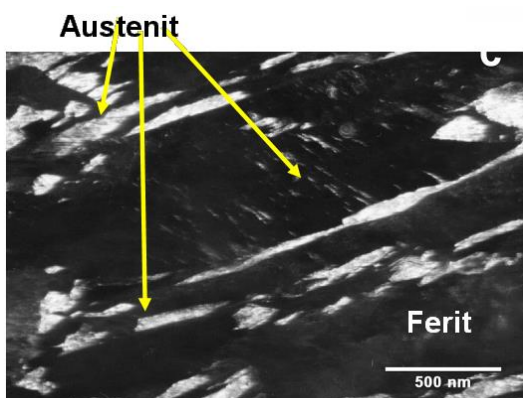


Obr. 2 Struktura DP oceli [92]

Dvojfázové feriticko-martenzitické oceli se vyrábějí metodou interkritického žhání nebo metodou řízeného ochlazování. Metoda interkritického žhání spočívá v ohřevu materiálu po válcování za tepla nebo za studena na teplotu v intervalu AC1 až AC3, s nutnou výdrží 5 až 15 minut na této teplotě a v následném řízeném ochlazování nadkritickou rychlostí, která zabezpečí požadované objemové podíly feritu a martenzitu, [71]. Druhý způsob výroby dvojfázových feriticko-martenzitických ocelí spočívá v úpravě technologických podmínek válcovacího procesu za tepla, resp. volbě chemického složení těchto ocelí tak, aby požadovaná dvojfázová feriticko-martenzitická struktura oceli vznikla přímo po válcování za tepla.

9.3. Maraging oceli

Název ocelí maraging vznikl spojením dvou za sebou následujících fázových přeměn, vyvolávající zpevnění (přeměny martenzitické – martensite a stárnutí – aging). Jedná se o nízkouhlíkové oceli s $C < 0,03\%$, $Mn < 0,1\%$, $Si < 0,1\%$, $S < 0,01\%$, $P < 0,01\%$. Zvláště nežádoucí jsou příměsi C, S, N, protože zvyšují hustotu bodů zakotvení dislokací tvořených karbidy a nitridy, které se vylučují hlavně na hranicích zrn. Důsledkem toho se snižují plastické vlastnosti. Podobně působí vměstky na bázi síry, obr. 3 [71].



Obr. 3 Struktura martenzitické oceli [92]

Tyto podmínky zabezpečují rozpouštění částic v austenitu a současně uvolnění případných napětí, vyvolaných předcházejícím zpracováním. Po kalení tvoří strukturu prakticky bezuhlíkový niklový martenzit, který je charakteristický velkou plasticitou, poměrně nízkou tvrdostí (30 až 35 HRC), pevností v tahu cca 1000 MPa a dobrou obrobiteľnosť. V průběhu stárnutí se v martenzitu vylučují disperzní částice intermetalických fází, obsahujících hlavně Mo a Ti. Jejich účinkem je tvrdost až do 62 HRC. Tyto oceli mají velmi mnoho cenných technologických vlastností, které je možné charakterizovat následovně: vysoká rozměrová stabilita během tepelného zpracování i dlouhodobého provozu; nízký exponent deformačního zpevnění a dobrá plasticita, což umožňuje použití všech druhů tváření za tepla i za studena s vysokými stupni deformace; dobrá obrobiteľnosť, zejména v kaleném stavu; vhodné na vytvrzování různými způsoby; dobrá svařitelnost.

9.4. Plechy válcované za tepla

Běžně se vyrábějí v tloušťce 2 až 15 mm, extrémně v rozsahu tloušťky 1,5 až 25 mm. Mez pevnosti se přitom může měnit v rozsahu 300 - 1400 MPa, tažnost v intervalu 5 - 50 %. Krom vysoké pevnosti při statickém a dynamickém namáhání se od nich vyžaduje dobrá lisovatelnost za studena a svařitelnost. Jsou vyráběné z konstrukčních a tažných ocelí.

Plechy z konstrukčních ocelí se používají pro výrobu nosných prvků s nižšími požadavky na tváritelnost za studena. Rozsah pevnostních a plastických vlastností je určený hodnotami: $R_{e\ min} = 200$ až 360 MPa, $R_m = 300$ až 650 MPa, $A_{5\ min} = 22$ až 26 %.

Plechy z tažných ocelí se používají pro výrobu konstrukčních prvků, kde se při výrobě vyžaduje velmi dobrá lisovatelnost za studena. Rozsah jejich mechanických vlastností je určený hodnotami: $R_{p0,2\ max} = 250$ až 360 MPa, $R_m = 250$ až 450 MPa, $A_{5\ min} = 29$ až 45 % (Table 1).

Table 1 Za tepla válcované vysocepevné oceli pro automobilové díly [71]

Mechanismus spevnenia	Hlavné prvky	Úroveň Rm [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie
Tuhým roztokom (TR)	Si – Mn No Nb+V	490-590	Dobrá ohýbatelnosť	Konstruktívne komponenty rámových dielov Podvozkové časti
Precipitáciou (P)	Nb, Ti, V Nb + Ti Nb + Ti + Cr	490 – 780	Ťažný typ, Vysoké výťažky s obrubou	Konstruktívne komponenty Ráfy kolies Konzoly
Transformáciou (T)	F + M	Si – Mn Si (Cr, P, Mo)	540 – 980 Vysoké predĺženie, nízka medzera sklzu Nízky pomer $R_{p0,2}/R_m$	Podvozkové časti Disky kolies
	F + B	Si – Mn Si – Mn – Nb Cr, Ti + Cr	440 – 780 Vysoké predĺženie	Závesy Držiaky motora
	M + B	Si, Ti	590 – 1100 Vysoká pevnosť	Podvozkové časti Nárazová výstuž dverí
	RA	C, Si Si – Mn Al – Mn (Cr, P)	590 – 980 TRIP typ Vysoké predĺženie Dobrá rovnováha medzi pevnosťou a ťažnosťou	Crash zóny (nárazníky, podvozkové časti, stĺpiky, nárazové výstuže dverí)

9.5. Plechy válcované za studena

Vyrábějí se pro praktické aplikace v tloušťkách 0,50 - 2,00 mm, extrémně 0,30 - 3,00 mm. Pevnost v tahu plechů válcovaných za studena se mění v rozsahu 300 - 1000 MPa, mez kluzu 150 - 800 MPa a tažnost A80= 15 - 50 %, tab. 8.4, [84].

Vlastnosti ocelí pro automobilový průmysl je možné ovládat vhodnou volbou chemického složení, na kterou navazuje ovládání mechanismů zpevňování oceli, mezi které se řadí:

- zpevnění tuhého roztoku intersticiálními a substitučními prvky,
- dislokační zpevnění,
- zpevnění od hranic zrn,
- precipitační zpevnění,
- transformační zpevnění.

Analýza vlivu jednotlivých mechanismů zpevnění na tvářitelnost a vlastnosti především výsledné feritické matrice provedená na základě literárních podkladů poukazuje na tyto skutečnosti: nejsilnější efekt na vlastnosti ocelí vykazuje transformační zpevnění, výsledné vlastnosti oceli závisí na více mechanismech zpevnění současně, přičemž tyto jsou podmíněné volbou chemického složení oceli, [5], [6], [84].

V případě, že se požadují len vysoké pevnostní vlastnosti oceli s minimální plastičností je jich možné dosáhnout např. kombinací zpevnění tuhého roztoku a transformačního zpevnění s martenzitickou strukturou. Mnohem častější jsou však požadavky kladené na současné vysoké pevnostní a plastické vlastnosti výsledného výrobku, kterých je možné dosáhnout jen kombinací různých mechanismů zpevnění.

Nejefektivnějším příspěvkem zpevnění je strukturální zpevnění dosažené řízenou fázovou transformací, která může být kombinovaná s dalšími příspěvky zpevnění (TR, P a zjemňování zrna). Možnosti ovládání strukturálního zpevnění pomocí řízených fázových transformací jsou realizovatelné:

- v procesech plastických deformací za tepla,
- pomocí řízeného válcování (RV) a řízeného ochlazování (RO),
- v procesech plastických deformací za studena,
- pomocí tepelného zpracování.

Uhlík způsobuje pokles plastičnosti oceli za studena a zhoršuje svařitelnost, proto je evidentní tendencí zaměření na minimalizaci jeho obsahu v ocelích určených pro automobilový průmysl. Do zavedení technologie vakuování oceli se obsah uhlíku pohyboval $C > 0,05$ %. Zařazení vakuování do ocelářských technologií umožnilo výrobu ocelí s nízkým obsahem uhlíku, které jsou v závislosti na jeho obsahu klasifikované následujícím způsobem [82]:

- LC oceli (nízko uhlíkové) 0,03 - 0,2 % C
- ELC oceli (extra nízko uhlíkové) 0,01 - 0,03 % C
- ULC oceli (ultra nízko uhlíkové) 0,01 - 0,003 %C
- SULC oceli (super ultra nízko uhlíkové) < 0,003 %

Tab. 8.4 Za studena válcované vysokopevnostní oceli pro automobilové díly [71]

Mechanismus spevnenia	Hlavné prvky	Úroveň Rm [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie	
Tuhým roztokom (TR) (LC – low carbon)	P – Mn Si – Mn P	340 – 440	Ťažný typ Dobrá lisovateľnosť BH typ	Vonkajšie panely Vnútorne panely Konštrukčné prvky Konzoly, stĺpiky	
Tuhým roztokom (TR) (ULC – ultra low carbon)	P – Mn P – Si Mn – P – Si Ti, Nb	340 – 590	Hlbokotažný typ BH typ	Hlboko ťahané časti Vonkajšie panely Vnútorne panely	
Precipitáciou (P)	Mn Nb Si – Mn – Nb	390 – 590	Dobrá zvariteľnosť	Vnútorne panely	
TR + P	Mn – Ti Si – Mn – P – Nb Cu – Ti	490 – 590	Dobrá ohýbatelnosť Typ s vysokou „r“ hodnotou	Výstuže Konzoly	
Transformáciou (T)	M M + B	Mn – Si Mn – Si – P Mn Si – Mn – Nb	490 – 1470	Nízky pomer $R_{m,2}/R_m$ BH typ	Vnútorne panely Konštrukčné prvky Výstuže Nárazníky
	B	Mn – Cr	440 – 590	Vysoké výtlačky s obrubou Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky Konzoly Výstuže
	RA	Si – Mn	590 – 980	TRIP typ Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky v crash zónach
P + T	Mn-Si-Ti Mn-Si-Ti-Mo	780-1470	Ultra-vysoko pevné	Nárazníkové výstuže Nárazová výstuž dverí	

9.6. Pozinkované plechy v automobilovom priemysle

Rozdelení technologie zinkování plechů.

Pozinkované oceli dnes rozhodně není možné zařadit mezi nové materiály. Rozvoj jejich použití v různých oblastech strojařské výroby je v současnosti řadí mezi velmi progresivní komodity. Spotřeba pozinkovaných plechů v období 1975 – 2000 byla

zdvojnásobená, zatímco prodej neupravených plechů v tom samém období klesl řádově o polovinu. K odvětvím, která zpracovávají největší množství pozinkovaného materiálu patří především automobilový průmysl [71].

Při povrchové úpravě ocelových plechů kovovými povlaky má zinek dominantní postavení s ohledem na svoji relativně nízkou cenu a vynikající korozní vlastnosti. Životnost povlaku je úměrná jeho tloušťce a prostředí, v kterém je pozinkovaný plech aplikovaný, [7], [9], [29].

Požadavky kladené na pozinkované materiály: nízká hmotnost, antikoroziční odolnost, technologická tvářitelnost, lehká svařitelnost, vhodnost povrchu pro povrchové úpravy, nadprůměrné pevnostní a plastické vlastnosti.

9.6.1. Plechy žárově pozinkované

Žárové zinkování je nejpoužívanější způsob protikoroziční ochrany ocelových výrobků. Většinu (více než 50%) produkce využívá automobilový průmysl a stavebnictví. Ke zlepšení korozních vlastností se do povlaku někdy přidává také Al a Si. Pozinkování, zvláště žárové, patří k ekonomicky nejefektivnějším procesům povrchových úprav ocelových úprav ocelových pásů. Vyrábějí se jednostranně a oboustranně pozinkované plechy se stejnou nebo diferencovanou tloušťkou povlaku pro vnitřní, ale i vnější díly karosérie.

Jednou z důležitých požadavků, které musí splňovat žárově pozinkovaný plech z hlediska jeho zpracování v automobilovém průmyslu, je potlačení tvorby zinkového kvetu, který je doprovodným jevem při žárovém pozinkování. Způsoby zabezpečení tohoto požadavku jsou:

- zvýšení rychlosti ochlazování tekutého zinkového povlaku,
- zvětšení počtu krystalizačních center při tuhnutí povlaku,
- snížení obsahu olova v zinkové koupeli pod 0,08%
- použití elektrolytického zinku do koupele,
- lehké převálcování pozinkovaného pásu (0,8 až 1,5 % odstranění).

9.6.2. Plechy elektrolyticky pozinkované

Elektrolyticky způsob pozinkování se používá od roku 1917. Výroba elektrolyticky pozinkovaných ocelových plechů je ve světě podstatně méně rozšířená než výroba plechů žárově pozinkovaných. Jej podíl na světové výrobě pozinkovaných plechů se odhaduje na 10 až 15 % [71], [76], [82].

Elektrolyticky pozinkované plechy mají v porovnání so zároveň pozinkovanými plechy několik **výhod**:

- možnost přípravy velmi tenkých zinkových povlaků (už od 0,4 μm),
- poměrně tenký zinkový povlak zajišťuje dostatečnou korozní ochranu základného materiálu pod aplikovaným organickým povlakem,
- galvanický proces neovlivňuje původní mechanické vlastnosti základného materiálu, hlavně jeho hlubokotažnost,
- vyloučený zinkový povlak doplněný konverzní vrstvou zabezpečuje dobrou přilnavost organického povlaku,
- relativně jednoduše je možné vyrábět diferencované a jednostranně pozinkované plechy.

Obvyklá tloušťka elektrolytického povlaku požadovaná automobilovým průmyslem je do 7,5 μm . Plechy elektrolyticky pozinkované využívají alkalický, nebo kyselý elektrolyt a samotné zinkování se proto vykonává ve dvou typech koupele:

9.6.3. V alkalických koupelích

Zinek je vázaný ve formě alkalického zinečnanu a ve formě komplexního zinečnato alkalického kyanidu. Koupel má velmi dobrou hloubkovou účinnost, jemnozrnnou a kvalitní strukturu povlaku a je lehký obnovitelný. Pro tyto vlastnosti, i přes jedovatost, se použití kyanidových koupelí velmi rozšířilo. Podle použitého složení koupele, leskutvorných přísad a pracovních podmínek se vylučuje vícero druhů povlaků, především matné, pololesklé a lesklé povlaky. Základní složení alkalických zinkovacích koupelí je kyanid zinečnatý, kyanid sodný, hydroxid sodný, sírník sodný a leskutvorné přísady podle potřeby. Katodová proudová hustota koupele je 1 – 6 $\text{A}\cdot\text{dm}^2$, proudový výtazek 70 – 90 %, teplota koupele 20 – 35°C.

9.6.4. V kyselých koupelích

Z těchto jsou nejvýznamnější síranové a fluoroboritanové. Kyselé koupele mají velmi malou hloubkovou činnost a špatnou krycí schopnost. Složení koupele je stálejší než u kyanidových koupelí, je možné využít vysoké proudové hustoty, při kterých pracují koupele s velkým katodovým rudovým výtazkem. Používají se pro zinkování drátů, plechů, pásů a předmětů jednoduchých tvarů.

Základní složkou koupele je síran zinečnatý, síran hlinitý, chlorid amonný a kyselina boritá. Katodová proudová hustota je 1 – 6 $\text{A}\cdot\text{dm}^2$, katodový proudový výtazek 95 – 100 %, teplota koupele 20 – 30°C. Rychlost tvorby povlaků v kyselých zinkovacích koupelích je

asi 8x vyšší než u koupelí alkalických.

Stálým rozvojem bezkvanidových, kyselinových koupelí pro zinkování byly dosaženy výsledky, které dovolují v mnohých případech nahradit technologii niklování a chromování. Jsou to hlavně :

- nejedovatost koupele,
- vysoce lesklý povrch,
- velmi odolné a ekonomický výhodné.

10. Nerezové materiály

Oceli, podle způsobu zpracování, tvářené ve formě polotovarů, podle použití konstrukční, podle chemického složení ze strany dodavatele ušlechtilé oceli, kde výrobce zaručuje jejich chemické složení, t.j. minimální i maximální obsah prvků, a podle chemického složení slitinové, které obsahují jeden nebo víc legujících prvků, představují nerezavějící oceli třídy 17, [4], [70], [71].

Rozdělení a označování ocelí se v Evropě sjednocuje na základě evropských norem (EN) a postupně se stávají normami celoevropskými. Rozdělení ocelí je dané evropskou normou EN 100020, v které se definuje:

- pojem oceli k tváření,
- rozdělení druhů ocelí podle chemického složení,
- rozdělení do hlavních skupin jakosti na základě vlastností a účelu použití.

Jako oceli k tváření jsou označované materiály, u kterých hmotnostní podíl železa je větší než kteréhokoli jiného prvku, obsahují méně než 2 % C a obsahují i další prvky.

10.1. Rozdělení ocelí podle chemického složení:

- **Nelegované oceli** - jsou takové, jejichž obsah jednotlivých prvků nedosahuje těchto mezních hodnoty:

○ Mn = 1.65	Si = 0.60	Cu = 0.40	Ni = 0.30
W = 0.30	Co = 0.30	Al = 0.30	V = 0.10
○ Mo = 0.08	Ti = 0.05	Bi = 0.10	Nb = 0.06
Zr = 0.05	Pb = 0.40	B = 0.008	

Hmotnostní podíl prvků je uvedený v %.

- **Legované oceli** – jsou ty, jejichž obsah jednotlivých prvků minimálně v jednom případě dosahuje nebo překračuje vyšší uvedené mezní hodnoty obsahu legujících prvků.

Rozdělení ocelí podle jakosti na základě vlastností a účelu použití, představuje:

- Jakostní skupinu legovaných ušlechtilých ocelí – vlastnosti jsou dosahované předepsaným chemickým složením a zvláštními podmínkami zpracování. Zahrnují legované konstrukční oceli, legované oceli pro tlakové nádoby a zařízení, oceli pro valivá ložiska, nástrojové oceli, rychlořezné oceli, oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi – feritické Ni oceli.

Podle obsahu legujících prvků se dělí na následující podskupiny:

- korozi-vzdorné oceli s obsahem Cr min $\geq 10,5$ % a max. obsahem uhlíku 1,2 %,
- rychlořezné oceli s obsahem C $\geq 0,60$ % a Cr = 3,0 – 6,0 %, krom dalších prvků obsahují min. dva z trojice Mo, W, V s celkovým obsahem nad 7 %.

10.1.1. Nerezavějící oceli

Antikorozi oceli jsou chromové slitiny se železem, obsahující 12 - 30 % chromu, až 30 % niklu nebo do 2,4 % manganu při určitém množství molybdenu, křemíku, mědi, titanu, niobu, dusíku a podobně (v množství max. několik procent). Chrom zajišťuje pasivitu těchto slitin a je proto rozhodujícím prvkem pro dosažení odolnosti vůči korozi. Nerezové oceli jsou v některých prostředích náchylné k lokálním druhům koroze (bodová, štěrbinová, mezikrystalická, korozní praskání). Ty však mohou být vyloučené vhodným výběrem oceli v daných podmínkách. I když chrom, nikl, mangan a další slitinové prvky jsou v antikorozi ocelích v poměrně velkém množství, základním prvkem je stále železo a jeho slitina s uhlíkem, tzn. ocel. Nerezové oceli rozdělujeme podle jejich chemického složení a struktury do těchto základních skupin [71]:

- austenitické
- martenzitické (kalitelné)
- feritické
- austeniticko-feritické (duplexní)

10.1.2. Austenitické oceli

Mají ze všech základních tříd nejvyšší odolnost vůči korozi, kterou je možné ještě zvyšovat přidáním molybdenu a mědi. Významnou vlastností je tažnost a houževnatost. Za účelem získání různých vlastností se základní složení upravuje přidáním dalších prvků za účelem:

- celkové odolnosti vůči korozi (chrom, molybden, měď, křemík, nikl)

- kvality mechanických vlastností (dusík)
- obrobiteľnosti (síra, selen, fosfor, olovo, meď)
- odolnosti proti praskavosti svarů (mangan)
- odolnosti proti bodové a štvŕbinové korozi (molybden, křemík dusík)
- odolnosti proti koroznímu praskání (omezení obsahu fosforu, arzenu, antimonu)
- pevnosti při tečení (molybden, titán, niob, bor)
- žáruvzdornosti (chrom, hliník, křemík, nikl)

10.1.3. Martenzitické oceli

Odolnost vůči korozi je nízká. Mohou nalézt uplatnění ve spojení s kyselinou dusičnou, boritou, octovou, benzoovou, olejovou, pikrovou, s uhličitany, s dusičnany a s louhy. Se stoupající teplotou však jejich odolnost klesá. Odolnost vůči atmosférické korozi je dostatečná jen ve velmi čistém ovzduší.

10.1.4. Feritické oceli

Jsou magnetické a dostatečně tažné. Vyšší obsah chromu zvyšuje jejich odolnost vůči korozi, která je v oxidačních prostředích vyšší než u martenzitických ocelí. Použití - v chemickém průmyslu, v prostředí kyseliny dusičné, v dopravě, vzduchotechnice, architektuře. V některých průmyslových atmosférách však nevyhovují. Nevhodné jsou ve svařovaných konstrukcích.

10.1.5. Austeniticko – feritické (Duplexní) oceli

Jsou odvozené od klasických austenitických ocelí, díky vysokému obsahu chromu a molybdenu mají výbornou odolnost vůči puklinám a korozi. Mikrostruktura duplexu poskytuje vysokou odolnost v lomu vůči korozi pod tlakem, vůči námahové korozi a erozi. Svařitelnost duplexních ocelí je dobrá. [71].

10.2. Všeobecné charakteristiky nerezových materiálů

Odpovídající jakosti v ČSN

- Feritické oceli 17020, 17021, 17022, 17023, 17024, 17040
- Austenitické oceli 17240, 17249, 17352, 17350, 17349, 17248, 17348
- Austeniticko-feritické 17381

10.2.1. Nerezové plechy válcované za studena

- Vyrábějí se podle DIN 17441/EN 10088-2, tolerancí DIN 59382.
Povrchové provedení:
 - 2R (IIIId) válcovaný za studena, leskle žíhaný, zrcadlový lesk.
 - 2B (IIIc) válcovaný za studena, mořený, žíhaný, jemně doválcovaný za studena, matně lesklý.
 - 2G válcovaný za studena, broušený (různé druhy brusů P80 až P400) nebo broušený a kartáčovaný.
 - 2J válcovaný za studena, kartáčovaný (Scotch-brite)

10.2.2. Nerezové plechy válcované za tepla

Vyrábějí se podle DIN 17440/EN 10088-2, AD-W2. Tolerancí DIN 59382, EN 10029.

10.2.3. Dekorativní plechy

Jakosti: 1.4016, 1.4301, 1.4404 (AISI 430, 304, 316L)
Povrchová úprava: 2B (žíhané, mořené), 2R (lesklé žíhané);
 další povrchy na vyžádání
Rozměry: tloušťka 0,5-2,0 mm
Formáty: 1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm
 další formáty na vyžádání

10.2.4. Tvarově válcované plechy

Jakosti: 1.4016 ; 1.4301 ; 1.4404 (AISI 430 ; 304 ; 316L)
Povrchová úprava: 2B (žíhané, mořené); 2R (lesklé žíhané); R13 ;
 Kartáčované, kolorované;
 další povrchy na vyžádání

Rozměry: tloušťka 0,5-2,0 mm
Formáty: 1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm;
další formáty na vyžádání

10.2.5. Plechy se speciální povrchovou úpravou

Kolorované, broušené, tepané a leptané dekorativní plechy (různé vzory).

10.2.6. Podlahové (slzičkové) plechy

Bližší informace o jakostech, formátech a povrchových úpravách možno vyžádat u výrobce.

11. Švédské oceli

Ocel může mít mnoho různých vlastností. Ocel může být tvrdá nebo měkká, houževnatá nebo křehká, silná nebo tenká, nebo super-pevná, aby odolala značnému opotřebení. Může mít též kombinaci těchto vlastností, přičemž vlastnosti oceli jsou dané výrobním postupem v ocelárnách, válcováním a následným zpracováním [81].

Švédský výrobce se specializuje na výrobu vysokopevnostní oceli. Při výrobě ocelí se zaměřuje na výrobu aut, pro potřeby domácnosti, produkty pro volný čas, vnitřní vybavení, velké budovy, mosty, veřejné dopravní prostředky, stroje, průmyslové závody či zdravotnická zařízení, přičemž při výrobě různých ocelí je možné vybrat si mezi 500 různými druhy.

Podíl progresivních švédských ocelí neustále roste spolu s rostoucím počtem zákazníků, kteří objevují výhody a zjišťují, jak mohou tyto nové druhy ocelí použít ve svých náročných aplikacích. K dosažení optimálního výsledku je důležité kombinovat technologie s inovacemi.

Výroba oceli se zabezpečuje pomocí dvou různých postupů:

- Výroba oceli z rudy - surové železo z rudy se vyrábí ve Švédsku z pelet železné rudy ve vysokých pecích v Lulea a Oxelösund. Přidává se též menší množství šrotu, když se surové železo rafinuje na surovou ocel v LD. Ve Švédsku se vyrábějí ocelové plechy a hrubá ocel.
- Výroba oceli ze šrotu – se vyrábí v USA, kde ocelárny recyklují šrot v elektrických obloukových pecích a surovou ocel vyrábějí výlučně ze šrotu. V USA se vyrábějí hrubé plechy

V obou případech se konečné složení oceli realizuje v souladu s postupy SSEB při zkujňování, dříve než se roztavená ocel odlévá a ochlazuje na brámy v kontinuální odlévací lince. Vysoce pevné oceli získávají svoji pevnost přesným přidáním legujících prvků, a svými výrobními metodami, například kalením v extrémně rychlých kalíčích procesech. Vysoká přesnost je jejich rozhodující podmínkou.

11.1. Sortiment švédských ocelí

Výrobce švédských ocelí, společnost SSEB, se zaměřuje na řešení náročných problémů. Experti výrobců mají jedinečné znalosti a zkušenosti ve všech oblastech výroby oceli od různých vlastností oceli, jako je pevnost, aspekty výrobního inženýrství, tváření a spoje až po únavu, opotřebení a povrchové úpravy.

Dobrým příkladem je evropský automobilový průmysl, který zvýšil svůj nákup moderních vysoce pevných ocelí v průběhu posledních deseti let. Důsledkem toho je, že vozidla dosáhla dobrých výsledků v crash testech, mají nižší spotřebu paliva a přispívají ke snížení emisí oxidu uhličitého. Výrobce švédských ocelí má vedoucí postavení na trhu nejprogresivnějších kalených a zušlechtěných ocelí. Docol produkty válcované za studena se často používají pro osobní automobily. Zákazníci se často rozhodují pro kombinaci HARDOX, WELDOX, DOMEX a Docol oceli v těžkých vozidlech, nákladních automobilech, přívěsech, nadstavbách nákladních aut, kontejnerech a jeřábech s cílem optimalizovat svoje výrobky. To má za následek výrazné zvýšení nosnosti, zvýšení životnosti a snížení nákladů na údržbu. Existují i jiné oblasti využití. TOOLOX je speciální ocel používaná na výrobu lisovacích nástrojů [81].

Odborníci technické podpory zákazníkům jsou zapojení do nových produktů a projektů od počátku. Výrobce často vyvíjí nové druhy oceli, které jsou určené pro konkrétní použití. Vývoj nových produktů takovýmto způsobem má jasné výhody.

11.2. Současný sortiment švédských ocelí je následující:



DOMEX ® jsou za tepla válcované plechy používané v aplikacích jako je výroba lodí, mostů, budov, strojní zařízení, vozidla, zdvižná zařízení a nádrže.



HARDOX ® je kalená a popouštěná otěruvzdorná ocel používaná na nadstavby sklápěčů, kontejnerů, drtičů, mlýnů, lžic rypadel.



DOCOL ® je ocelový plech válcovaný za studena, je k dispozici od měkké oceli přes lisování a ohýbání až po ultra-vysoce pevnou ocel.



DOGAL jsou druhy DP ocelí (dvoufázové oceli) dobré tvářitelnosti a pevnosti materiálu. Dogal 600 D a 800 DP jsou extra a ultra vysoce pevné oceli žárově pozinkované.



WELDOX ® je vysoce pevná konstrukční ocel používaná na výrobky, které jsou lehčí, ale mají stejnou nebo vyšší pevnost v porovnání s výrobky z běžné oceli. Používá se např. pro výrobu jeřábů, přívěsů a vozidel.



PRELAQ ® je potahovaný ocelový plech pro stavební průmysl, a používá se na střešní krytinu, fasády, střechy, okapové roury a kování.



ARMOX ® je druh oceli, která se používá zejména jako ochrana při přepravě cenností, jako jsou bankovní přepážky, odminovací vozidla, osobní ochrana atd.



TOOLOX ® jsou moderní nástrojové oceli pro lisovací nástroje a části strojů.

QSTE – vysoce pevné ocelové plechy válcované za tepla na tváření za studena
Oceli s označením QSTE tvoří třídu jemnozrnných mikrolegovaných termomechanicky válcovaných (TM) ocelí, které jsou svojí zvýšenou pevností vhodné na ohýbání za studena.

11.3. Životní prostředí a recyklace

Přírodní zdroje jsou omezené. Takže je důležité šetřit suroviny a používat je co nejefektivněji. Především je důležité recyklovat materiály, jako je železo, které už bylo vytěžené ze zásob přírodních zdrojů.

Během své životnosti, okolo 90% všeho odpadního železa a oceli se opět používá nebo recykluje. Ocelový šrot jako stará auta, průmyslové stroje a zařízení pro železniční dopravu se roztaví, rafinují a vyrobí se nová ocel pro nové výrobky. Ocel je součástí cyklu, v kterém je možné prakticky všechno obnovit. Přibližně jedna třetina světové produkce oceli je založená na recyklaci šrotu. Protože poptávka po oceli se stále zvyšuje a převyšuje nabídku dostupného šrotu, musí se vyrábět také nová ocel ze železné rudy. Vysoké pece výrobců švédských ocelí patří ve světě mezi energeticky nejúčinnější.

Taktéž pomocí parních turbín se procesní plyny používají jako zdrojová surovina na výrobu elektrické energie v závodech na kombinovanou výrobu tepla a elektřiny. Toto uspokojuje polovinu potřeby elektrické energie výrobců SSEB ve třech výrobních závodech. V další fázi se pára z parních turbín používá pro ohřev vody v systému dálkového vytápění pro 35.000 domácností zásobovaných vodou z kombinované výroby tepla a elektřiny. Zhruba dalších 40.000 domácností využívá systém dálkového vytápění z procesních plynů, kde teplo se získává z plynů z vysokých pecí.

Z holistického pohledu na průmysl a energetiku, se mohou celkové emise oxidu uhličitého snížit. Krom toho se mohou v ocelářském průmyslu obnovovat další energie. Pokud se používá uhlí, mělo by se používat hlavně k výrobě oceli.

Závody ve Švédsku a v USA používají zemní plyn na předehřívání v procesech recyklace šrotu před tím, aby se šrot taval v elektrických obloukových pecích. Zemní plyn se také používá na ohřev brám ve válcovnách.

Závody výrobců mají nižší emise do ovzduší a vod, a to především v důsledku využívání vedlejších produktů, protože efektivně separují energetické plyny, prach, strusku, mokré kaly, chladicí kapaliny, zpracovávají vodu, okoviny, síru, dehet, benzen, atd. Oddělené látky se shromažďují a třídí. Velká část těchto látek se recykluje. Vedlejší produkty ocelářského průmyslu jsou aktiva, která mohou být zpracována a použita novými uživateli jako suroviny.

Samostatná společnost Merox, která je společenstvím výrobců ocelí, specializuje se na využití vedlejších produktů. Zpracovává produkty a suroviny pro širokou škálu aplikací, jako jsou stavební materiály, materiály pro stavbu cest, koňských jezdeckých drah, surovin pro výrobu cementu, hnojiv, ferit na magnety a pigmenty do nátěrových hmot. Využívání vedlejších produktů jako nových surovin představuje významnou ochranu přírodních zdrojů.

Saze z vysokých pecí, prach a kal z čistíren odpadních vod z výrobních závodů se mohou smíchat s jemnými zlomky šrotu a úlomků z pelet, a slouží jako nová surovina pro vysoké pece, například v podobě briket.

Struska z vysokých pecí je vynikajícím stavebním materiálem pro stavbu cest, a je důležitou surovinou pro cementářský průmysl. Vysoký obsah vápence (30%) je velkým přínosem. Když se struska používá na stavbu cest, vápenec ji váže do souvislé vysokozátěžové jednotky, čímž může být zavodněná. Současně vápno spojuje další látky ve strusce, a také působí proti překyselení díky zvyšování pH. Struska z vysokých pecí je dobrým příkladem toho, že uzavřený cyklus v ocelárnách má víc aplikací.

Kontinuální odběr vzorků ze vzduchu, vody a ryb a jejich studium zabezpečují minimální dopad na životní prostředí. Orgány životního prostředí vykonávají rozsáhle programy kontroly a monitorování všech emisí, čím zabezpečují, že jsou v rámci přípustných hodnot.

Výrobce švédských ocelí má vlastní politiku pracovního prostředí, v kterém je bezpečnost prioritou, protože má zásadní význam pro uspokojení z práce, rozvoj zaměstnanců a ziskovost společnosti. Prvořadým cílem je, aby nikdo neutrpěl úraz, zranění nebo nemoc z povolání, a to jak zaměstnanec, tak dodavatel nebo návštěvník. Garantuje to systematický, širokospektrální přístup k pracovnímu prostředí a bezpečnosti při práci.

12. Kompozitní materiály I.

Kvalitativní změnu v řešení rozporu mezi požadovanými vlastnostmi a možnostmi homogenních materiálů představují kompozity, jejichž složky plní jednotlivé, v jednom materiálu neslučitelné požadavky. Mezi kompozitní materiály je možné zařadit širokou, různorodou skupinu materiálů [59], [60], [61], [62].

Podle vlastností je možné rozdělit kompozity na:

- kompozity s vysokými mechanickými vlastnostmi;
- kompozity se speciálními fyzikálně-chemickými vlastnostmi.

Kompozity jsou materiály, které vznikly fyzikální kombinací existujících jednoduchých materiálů. Základní hmota, matrice, má funkci pojiva. Druhá složka, vlákna, vrstvy nebo disperzní částice, má zpevňující účinek. Na vlastnosti kompozitu složeného z fází A (zpevňující části) a B (matrice) a mají vliv zejména tyto parametry:

- objemový podíl složek A a B (V_a , V_b),
- geometrie systému, která může být charakterizována:
 - jednorozměrnou kontinuální fází (vlákno, tyčinka),
 - dvojrozměrnou kontinuální fází (deska, lamela),
 - trojrozměrnou kontinuální fází (prostorová síť),
- stupeň kontinuity (od úplné kontinuity po disperzní částice),
- uspořádání fází (extrémem jsou uspořádání paralelní a sériové).

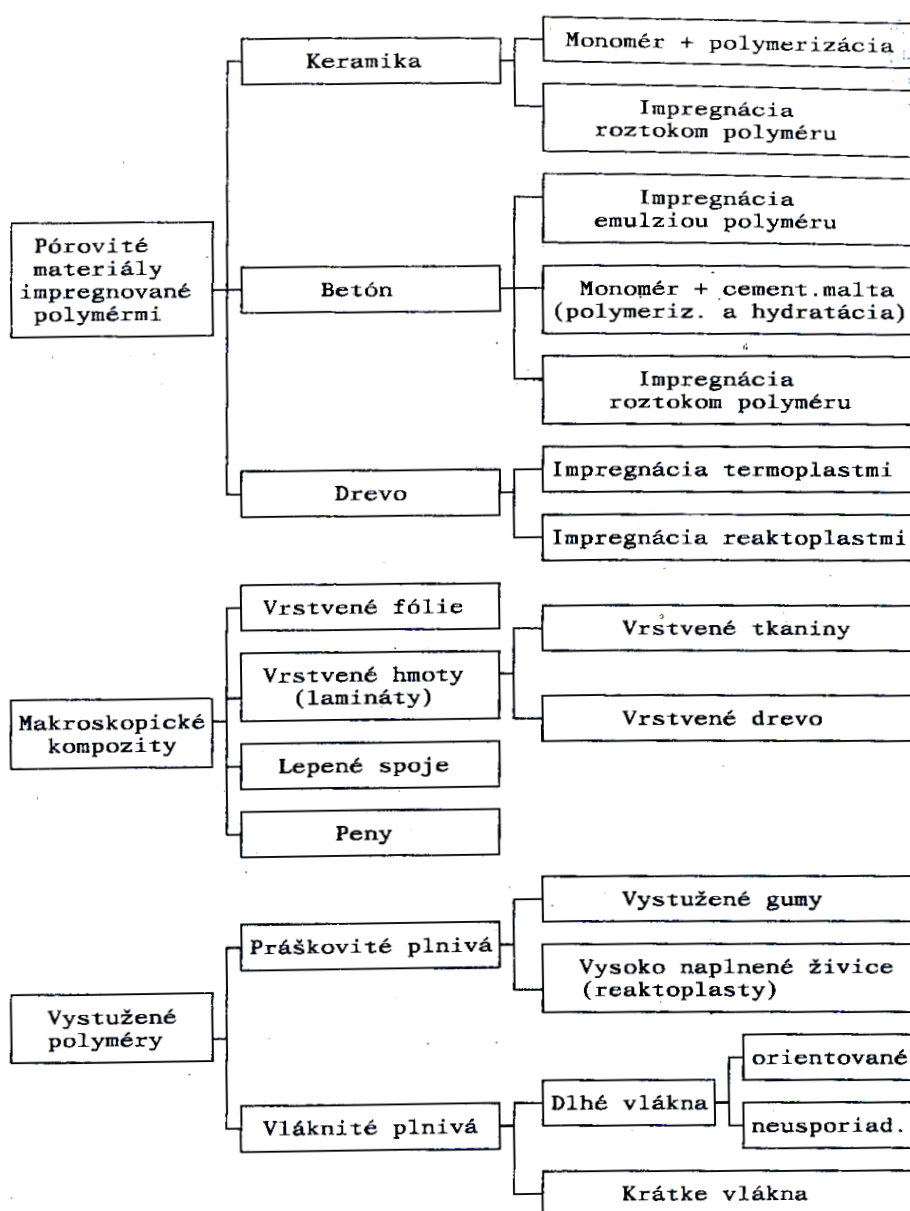
Mechanické vlastnosti kompozitu nejvíc ovlivňuje uspořádání fází. Vlastnosti kompozitu můžeme považovat za přibližně aditivní a dají se tedy odvodit od vlastností výchozích složek. [61]

12.1. Kompozity na bázi polymerů

Skoro všechny biologické systémy jsou složené z polymerů, které splňují buď funkce mechanické (dřevo, kosti, kůže), nebo ovlivňují v přírodě chemické reakce (listí, buňky). Po tisíce let využíval člověk přírodní polymery, ale až v minulém století byly vyvinuté polymery syntetické. Jednoduché syntetické polymery mají menší pevnost než kovové materiály, ale i než dřevo či kosti. Je to proto, že dřevo i kosti jsou v podstatě kompozity; jejich polymerová matrice je zpevněná vlákny nebo částicemi. Proto se pozdější vývoj i v oblasti plastů soustředil na kompozity. V současnosti existuje velký počet kompozitů na

bázi polymerů, jež se každoročně zvyšuje. Můžeme je rozdělit v souladu s Tab. 1, [59], [60], [61], [62].

Tab. 11.1 Kompozity na bázi polymerů [61]



Makroskopické kompozity jsou kompozity, v nichž makromolekulární látka vytváří makroskopicky spojitou fázi. Nejvýznamnějšími makroskopickými kompozity jsou vrstvené materiály (lamináty), které vznikají spojením více vrstev polymeru a výztuže. Výztuž není volně uložená v matrici, ale jednotlivá vlákna jsou navzájem spojena formou tkanin s různými vazbami, nebo formou rohoží, případně rovingů (svazků vláken). Jednotlivé vrstvy se nasycují kapalnými nebo práškovými živicemi, které se v dalším

stádiu vytvrzují. Mezi nejpoužívanější vrstvené plasty podle druhu výztuže možno zařadit skleněné lamináty. Lamináty se používají na stavbu částí karosérií některých automobilů (karosérií starších malých vozů Trabant je z polyfenolové živice vyztužené rohožemi z krátkých bavlněných vláken). Skelné lamináty se uplatňují i při výrobě sportovních a turistických letadel (trupy a křídla).

Impregnované pórovité materiály jsou kompozity na bázi keramiky, betonu a dřeva. Tyto materiály se plní polymery.

Vrstvené bezpečnostní sklo, zabraňuje rozptýlení střepin při rozbití, vyrábí se lepením dvou nebo více tabulí skla plastem. [61].

Lehčení materiály, tedy pěny, jsou polymery obsahující dutinky různých tvarů a velikostí. Vyrábějí se z plastů i kaučuků. Technicky nejvýznamnější lehčené materiály jsou PS (polystyrén), PVC (polyvinylchlorid) a pěnovité reaktoplasty. Používají se např. ve vnitřním vybavení dopravních prostředků (sedadla) a na různé obaly [59], [60], [62].

Speciálním případem vrstvených plastů jsou **sendviče**. Jde o laminátové nebo hliníkové potahy s jádrem z lehčených plastů, určené např. k výrobě karosérií chladírenských vozů a obytných přívěsů.

Vyztužené polymery jsou materiály vytvořené spojením vyztužovacího materiálu (plniva) a makromolekulární látky, většinou s cílem zlepšit mechanické vlastnosti. Polymerní složka tvoří základní spojitou matici kompozitu. Plnivem je neprchavá přísada organického i anorganického původu. Základem vyztužených polymerů jsou zejména reaktoplasty. Plnivem se však modifikují i termoplasty, např. PTFE (polytetrafluoretén – teflon) plněný grafitem a práškovým bronzem se používá na pohybové, nemazané těsnění a kluzná ložiska. [62].

12.2. Kompozity s kovovou maticí

Kompozity s kovovou maticí můžeme rozdělit na:

- **disperzní zpevněné materiály** - kovová matrice + nekoherentní (nesouvislé) disperzní částice,
- **vláknové kompozity** - kovová matrice + tenké drátky nebo monokrystalická vlákna.

Disperzně zpevněné materiály jsou to kompozity s maticí zpevněnou disperzně diskontinuální fází. Vyrábějí se převážně technologiemi práškové metalurgie. Mají polykrystalickou matici, do které jsou vloženy disperzní částice, nejčastěji typu oxidů, karbidů a nitridů. Podstata zpevňujícího účinku disperzoidů je jednak přímá, spočívající v brždění pohybu dislokací matrice, jakož i nepřímá tím, že při tváření soustavy

disperzoidy zvyšují hustotu dislokací a zjemňují zrnovou a subzrnovou strukturu. Z teoretických úvah a experimentů vyplynulo, že maximální efekt zpevnění se dosáhne při následujících strukturních parametrech:

- rozměr zpevňujících částic sekundárních fází (disperzoidů) nemá přesahovat 50 nm,
- střední vzdálenost mezi zpevňujícími částicemi má být v rozmezí 0,1 - 0,5 μm a jejich rozložení má být rovnoměrné.

Z uvedených parametrů vyplývají reálné objemové podíly disperzoidů.

Hliník SAP (Sintered Aluminium Powder), t.j. hliník zpevněný částicemi Al_2O_3 je nejstarším disperzně zpevněným materiálem. Při jeho přípravě se využívá povrchová oxidace hliníkového prášku během mlecího procesu. Tvrdé oxidy, vznikající na povrchu hliníkových částic praskají, odlupují se a kovově čistá zrna se svařují. Konečným výsledkem opakování těchto procesů je vznik hliníkových zrn, uvnitř zpevněných oxidickými částicemi. Takto upravený hliníkový prášek se lisuje, spéká a protlačuje

za tepla. Předností SAP jsou velmi dobré mechanické vlastnosti za tepla, nízká hustota, dobrá odolnost vůči korozi a dobrá tepelná vodivost [59], [60], [61], [62].

Dispál je nový materiál s podobnými vlastnostmi jako SAP. V tomto případě jde o hliník zpevněný částicemi Al_4C_3 , připravovaný mechanickým legováním směsi hliníkového a grafitového prášku. Tento prášek se potom zhutňuje za tepla. Podobně jako SAP je i Dispál používán jako konstrukční materiál zejména v automobilové a letecké dopravě. Vyznačuje se vysokou odolností vůči rekrystalizaci a vysokou žárupevností v rozmezí 300 - 500 $^{\circ}\text{C}$.

TD Nickel (98 % Ni, 2 % ThO_2) je po SEP dalším, dnes už tradičním disperzně zpevněným materiálem. Nikl zpevněný oxidem thoričitým má vysokou pevnost za tepla a je vhodný pro použití při teplotách 1100 $^{\circ}\text{C}$, příp. vyšších.

Disperzně zpevněné žárupevné slitiny jsou v poslední době častěji zpevňované Y_2O_3 , ačkoli je ThO_2 radioaktivní. Jde zejména o slitiny typu NiCrAl- Y_2O_3 , připravované mechanickým legováním. Používají se při stavbě plynových turbín leteckých motorů. Vyznačují se vysokou žárupevností do teploty 1200 $^{\circ}\text{C}$ a krátkodobě až do 1350 $^{\circ}\text{C}$.

Disperzně zpevněné korozivzdorné a žaruvzdorné oceli, austenitické a feritické oceli (zpevněné oxidy Al, Ti, příp. Th) mají zvýšenou odolnost vůči křehnutí při radiaci a používají se proto při stavbě reaktorů. Pro svou vysokou pevnost (i za tepla, krátkodobě použitelné až do 1200 $^{\circ}\text{C}$) při přijatelné houževnatosti a korozní odolnosti se používají i v leteckém průmyslu a raketové technologii. Mezi jejich nevýhody patří vysoká cena, náchylnost k tepelnému křehnutí, problematičnost dodržování vysoké pevnosti ve svarech, častá anizotropie vlastností a náchylnost ke koroznímu praskání pod napětím.

[61].

12.3. Vláknové kompozity

Vláknové kompozity s kovovou maticí je možné podle výztuže rozdělit do tří skupin, a to na drátky (dlouhé dráty s průměrem 2 až 250 μm), vlákna (krátké tenké dráty) a whiskery (krátké monokrystaly o průměru řádově 1 μm).

Vlákna (případně drátky) mají pevnost v tahu 2000 až 4000 MPa. Materiály vyztužené vlákny jsou většinou usměrněné, proto má kompozitní materiál výraznou anizotropii vlastností. Vyrábějí se práškovou metalurgií, zaléváním vláken základním materiálem, nebo válcováním kovových fólií matrice, které jsou prokládané vlákny. Při uvažování plastické deformace při vyšších teplotách se optimální poměr l/d zvětšuje asi na 50.

Kompozity s hliníkovou maticí patří k nejrozšířenějším materiálům vyztužených vlákny. Nejběžnějším zpevňujícím materiálem jsou *uhlíková vlákna*, která se buď zalisují mezi hliníkové fólie, nebo se pokrývají vrstvou Ti a B a potom hliníkem. Důležité místo se zaujímají i *vlákna B a B + SiC* (vlákna bóru pokrytá vrstvou SiC).

Kompozity s titanovou maticí se také uplatňují zejména v leteckém průmyslu (lopatky ventilátorů leteckých motorů). Ke zpevnění titanu jsou obzvláště vhodná borsicová a beryliová vlákna. U kompozitů s maticí titanové slitiny typu VT6 se dosahuje pevnosti vláken 1 000 až 1400 MPa.

Žárupevné kompozity jsou především na bázi superslitin niklu s wolframovými a korundovými vlákny, ale i s grafitovými. Podíl vláken je od 20 do 70 %, pevnost při teplotě 20 °C je 1 400 až 2 100 MPa, časová mez tečení (1 000 h) při teplotě 1 100 °C je však 200 až 300 MPa, tedy o mnoho vyšší než při konvenčních žárupevných slitinách. Je možné je použít až do teploty 1650°C.

Whiskery jsou krátké monokrystaly o průměru řádově 1 μm (whiskers - angl. vousky). Připravují se zpravidla krystalizací z tekuté i plynné fáze. Nejlépe propracovaná je výroba safírových ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) whiskerů. Připravují se ohříváním oxidu hliníku na 1 300 – 1 500 °C v atmosféře vodíku, obsahujícího vodní páru. Dochází k redukci oxidu, odpařování a opětovné oxidaci hliníku. Oxid hliníku se následně usazuje v podobě whiskerů v chladnější části reakčního prostoru [59], [60], [61], [62].

Kompozity zpevňované whiskery jsou snadno tvářitelné a dosahují vysoké pevnost. Např. hliník s whiskery SiC má pevnost v tahu až 600 MPa. Byly vyvinuty i whiskery Al_2O_3 nebo B_4C ve stříbře a niobu. Kompozity s niobovou maticí se ukázaly být mimořádně vhodným materiálem pro namáhání při 1100 °C. Nevýhodou whiskerů je jejich extrémně vysoká cena.

13. Kompozitní materiály II.

13.1. Spékané kovokeramické materiály

Prášková metalurgie umožňuje vyrábět více principálně nové materiály, které není možné získat klasickými technologickými postupy. Patří mezi ně i spékané materiály ze směsí kovových a keramických prášků. Jsou to především spékané karbidy na řezné nástroje a třecí materiály na brzdová obložení.

Spékané karbidy patří do skupiny spékaných mikroheterogenních materiálů. Představují vysoký vývojový stupeň tvrdých nástrojových materiálů. Práškovou metalurgií se získávají materiály, při kterých se využívá vysoká tvrdost stálých tvrdých karbidů, které jsou v litém stavu značně křehké. Základem v současnosti používaných spékaných karbidů jsou částičky vysoce tvrdých karbidů wolframu a titanu, které se spojují prostřednictvím kobaltu. Dostatečná pevnost a snížení křehkosti spékaných karbidů se dosáhne tehdy, když jednotlivé karbidické částičky nepřesáhnou velikost několika μm . S rostoucím obsahem kobaltu klesá tvrdost a vzrůstá pevnost v ohybu. Tvrdost (bez snižování pevnosti) je možné dále zvýšit nanášením tvrdých povlaků na destičky ze spékaného karbidu. [61], [62].

Kovokeramické třecí materiály jsou spékané heterogenní materiály na obložení spojek a brzd pro velmi výkonné dopravní prostředky (letadla, tramvaje), stroje a přepravní mechanismy. V těchto případech nevyhovují běžně používané nekovové třecí materiály. Pro tato použití je nevyhnutný velký součinitel tření i při vysoké teplotě, dobrá tepelná vodivost (odvod tepla vzniklého třením). [61], [62].

13.2. Kompozity s keramickou maticí

Byly vyvinuty nové druhy keramických materiálů, které se dnes už uplatňují ve strojírenství, elektrotechnice a elektronice. Jsou to materiály třetí generace.

Existují dvě skupiny keramických materiálů:

- monolitní,
- kompozitní materiály.

13.3. Monolitní keramické materiály

Základním prvkem těchto materiálů jsou oxidy hliníku, silikóny a anorganické látky

různých druhů. Souběžně s vývojem těchto materiálů jsou vyvíjeny i nové technologie jejich výroby a zpracování. Nové keramické materiály se označují jako konstrukční keramika, která se vyrábí z jemně rafinovaných nebo syntetických surovin. Při zpracování surovin se používají speciální chemické procesy a minerální i technické úpravy.

Konstrukční keramika má vlastnosti, které ji umožňují používat pro:

- oblasti, kde jsou prioritní elektrické a magnetické vlastnosti, tzn. v elektronice a silnoproudé elektrotechnice.
- oblasti, kde se využívá jako řezný materiál. Spékané oxidy hliníku, křemíková keramika a zirkonium-hliníková keramika mají výhody oproti wolframovým karbidům při řezacích operacích.
- oblasti, kde se používají součástky pracující při vysokých teplotách, kde se využívá hlavně stabilita keramiky až do teploty 1 300 °C. Keramika se využívá např. na lopatky turbínových motorů, kryty rotorů, ventily a jejich zdvihadla ve spalovacích motorech.

13.4. Keramické kompozity

Jejich vlastnosti se získávají vhodným uspořádáním struktury – výplňové matrice a vláken. Mají vyšší pevnost a tvrdost než jiné materiály, jíž se dosahuje vyztužením vláken a whiskery. Zatímco polymerní kompozity se mohou používat jen do teploty 300 °C, kovové do teploty 600 °C, keramické kompozity si zachovávají stabilitu při o mnoho vyšších teplotách.

Příprava keramických kompozitů je dvojího typu:

- **práškové zpracování základní látky a infiltrace** (vniknutí) suspenze vláknitých svazků. Vyztuží jsou vlákna nebo whiskery, zhutnění je zajištěno lisováním za tepla;
- **chemické procesy** – termický rozklad, reakční vázání a chemické infiltrační techniky. V tomto případě nejsou vyžadovány vysoké pracovní teploty. Chemické procesy jsou v porovnání s předchozími pomalé.

Keramické kompozity se vyrábějí za použití podobných technologií jako v případě kovových kompozitů. Využívá povrchového povlaku vláken, aby se docílilo správného fázového rozhraní mezi vláknem a výplní. [61], [62].

13.5. Kompozity z uhlíkových vláken

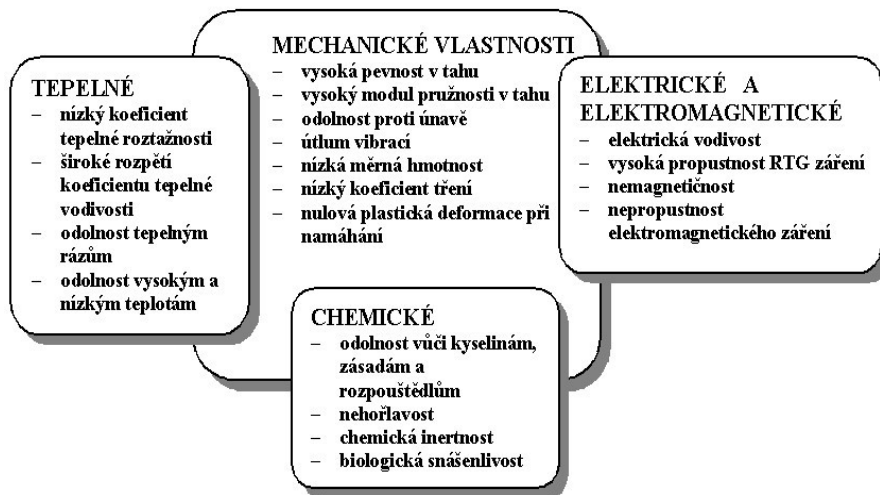
Základní surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

- **celulóza** – vyrobená vlákna mají nedokonalou strukturu, používají se jako izolační materiál pro vysoké teploty,
- **polyakrylonitril (PAN)** – standardní vlákna, od r. 1980
- **smůla**, nákladný způsob výroby vláken, jehož konečná cena vzhledem k nízké ceně základní suroviny je velmi příznivá. Mají vysokou hodnotu E – modulu a velmi dobré tepelné a elektrické vlastnosti, jejich pevnost v tlaku je v porovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými rovinami jsou řidší. Mají malý podíl na trhu, HM (s vysokým modulem pružnosti) vlákna, HT (s vysokou pevností) vlákna se používají pro speciální účely.

Obecně je výroba kompozitních vláken řazena do pokročilejších výrobních technologií. Dnes nejčastější způsob výroby je skrze pyrolýzu vláken polyakrylonitrilu (PAN). Tato jsou po zahřátí protahována, aby došlo k požadované orientaci molekul. Následně je potřeba stabilizace karbonizací, která probíhá až 10 hodin v rozmezí 220-230°C. V dalším kroku se v inertní atmosféře při teplotách 1000-1500°C vlákna protahují a pokračuje se v karbonizaci. Tato vlákna se označují jako HS – vlákno (high strength – vysoká pevnost). Při pokračování ohřevu nad 2500°C opět v inertní atmosféře, a navíc pod napětím, dochází při grafitizaci tvorby struktury podobné grafitu. Tato vlákna se označují jako HM – vlákno (high modulus – vysoký modul).

V současné době moderní výroba již umožňuje různou úpravu vláken podle požadavku zákazníka. A sice vlákna vysokomodulová grafitizovaná, vlákna dutá, vlákna s vysokým modulem pružnosti či nanovlákna [59], [60], [61], [62].

Přehled užitečných vlastností uhlíkových vláken a kompozitů - obr. 1



Obr.1 Vlastnosti uhlíkových vláken a kompozitů [60]

Vlákna vyrobená grafitizací se skládají do pramenců, které se navíjejí do rovingů na cívku. Cívky se poté umístí na tkalcovský stav, na kterém vzniká tkanina.

Zvýšením počtu vláken v osnově vznikají rozdílné typy křížení vláken, které se nazývají vazby [59], [60], [61], [62]. Výhodou tkanin oproti jednosměrně orientované výztuži je její snadnější zpracování. Následující obr. 2 znázorňuje rozdělení vláknových kompozitů na schematickém pavouku z geometrického pohledu.



Obr. 2 Klasifikace vláknových kompozitů z geometrického pohledu [61]

PROVOZ A ÚDRŽBA STROJŮ

1. Základní pojmy

Údržba – kombinace všech technických, administrativních a manažerských činností během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení v stavu, nebo jeho navrácení do stavu, v kterém může vykonávat požadovanou funkci.

Strategie údržby – metoda managementu používaná k dosažení cílů údržby.

Cíl údržby – zabezpečení takého režimu starostlivosti o hmotný majetek, který poskytuje skutečný objektivní obraz a je nápomocný zlepšení celkové efektivity zařízení, řeší problémy údržby strojů a zařízení včetně dopadů na produktivitu.

Filosofie a strategie údržby – systém principu pro organizování a provádění údržby. Je postavený na chápání údržby jako celopodnikového problému, který pomocí souboru aktivit vedoucích k provozu strojů a zařízení za optimálních podmínek zajišťuje.

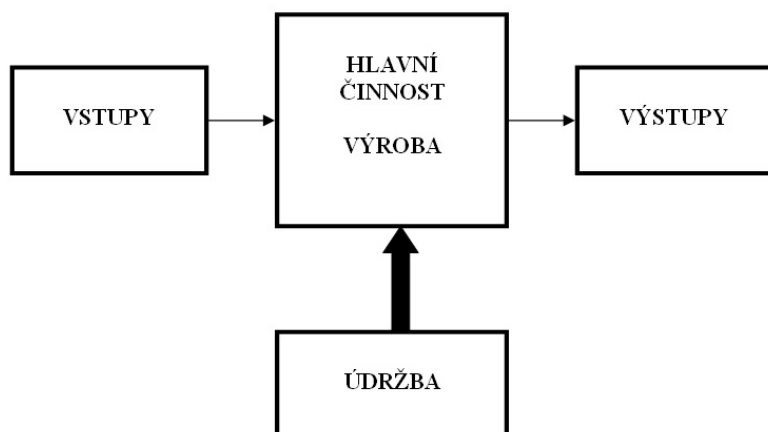
Koncepce údržby – popis vztahů mezi místy údržby, stupněm rozčlenění objektu a stupněm údržby, které mají být použité pro údržbu objektu.

Udržitelnost – schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat v stavu, v kterém bude vykonávat požadovanou funkci, pokud se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a zdroje.

Zajištěnost údržby – schopnost údržbářské organizace mít v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu správné zajištění údržby na místě, kde je nutné převést požadovaný údržbářský zásah.

Zajištění údržby – zdroje, služby a management nutný k provozu údržby.

Funkce údržby ve výrobním procesu



1.1. Základní všeobecné požadavky na údržbu:

Procesní přístup – funkčnost a způsobilost při vynaložení optimálních nákladů je účinnější při řízení údržby jako procesu.

Systémový přístup – účinnost a efektivnost údržby je zvyšovaná i řízením vzájemně souvisejících procesů.

Řízení údržby – vrcholové vedení údržby musí prosazovat a vytvářet prostředí v souladu s celkovou strategií a koncepcí řízení výroby.

Zapojení všech pracovníků – údržba je věcí každého pracovníka, ne jenom pracovníků údržby.

Změna myšlení a postojů – v chápání a pojetí údržby včetně přístupu k zvyšování kvalifikace z pohledu údržbářských prací.

Rozhodování postavené na faktech – analýzy údajů s vpřed definovanou jistotou a jejich využití v informačních systémech pracujících v reálném čase potřebném k rozhodnutí.

Neustálé zlepšování – údržbářských procesů po stránce technické a organizační.

Prosazování výhodných dodavatelských vztahů – řešit údržbu centralizací práce, integrací do výroby (autonomní údržba) a vyčleněním (externí údržba).

ZÁSADA 3 P

PREVENCE – vykonání údržby v pravý čas – v předstihu

PROAKTIVITA – hledání příčin poruchovosti

PRODUKTIVITA – nastavení údržby tak aby nestagnovala výroba

2. Požadavky a zajištění provozní spolehlivosti, teorie údržby

2.1. Provozní spolehlivost

„Vlastnost výrobku (stroje), která mu umožňuje plnit určené funkce v mezích přípustné tolerance při daných provozních podmínkách a požadované době provozu“ Mezi její základní vlastnosti patří:

- Funkčnost,
- Bezpečnost,
- Bezporuchovost,
- Udržovatelnost,
- Pohotovost

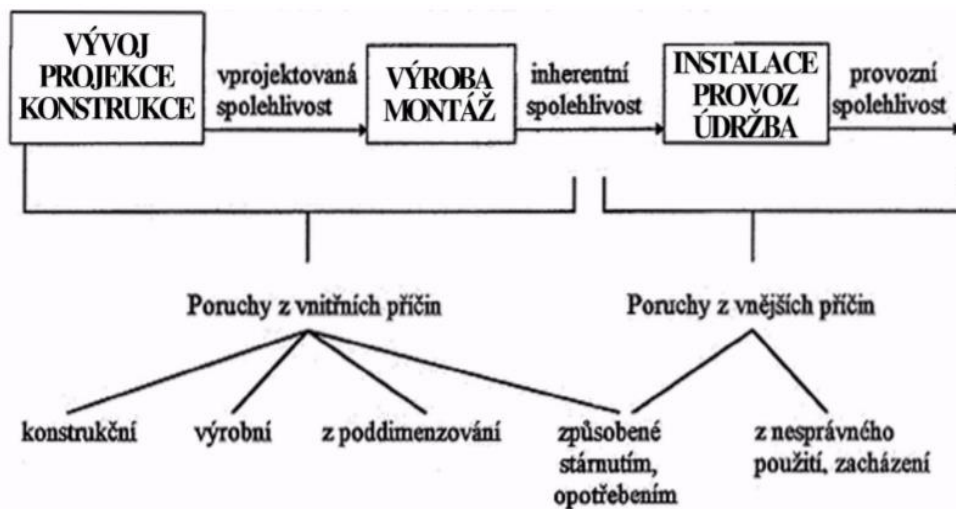
Zabezpečení provozní spolehlivost je nutno chápat jako systémový problém řešení všech procesů a činností ve svých vzájemných vazbách a souvislostech.

2.2. Provozní spolehlivost a technický život objektu

Zabezpečení provozní spolehlivosti se dá říci prolíná celým průběhem technického života každého provozovaného objektu.

Prvopočátek provozní nespolehlivosti už může začínat na samém začátku jeho průběhu technickým životem objektu.

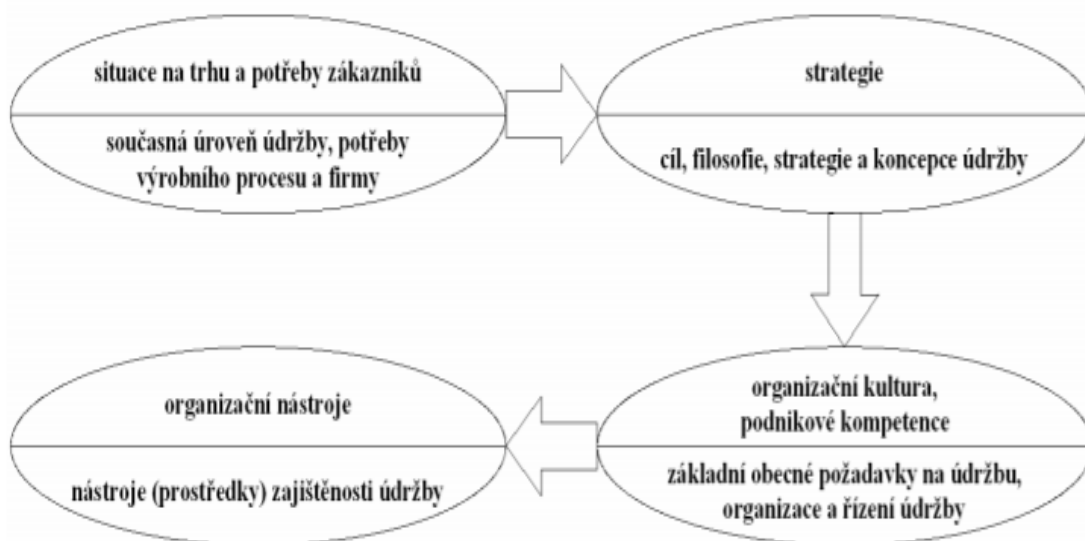
Průběh technického života objektu – přiřazení spolehlivosti a poruch k základnímu členění životního cyklu objektu:



Z obrázku je jednoznačně jasné co se myslí pod pojmem provozní spolehlivosti. Jedná se o nejdůležitější a nejdůležitější etapu technického života stroje, jelikož ze stroje se stává výrobní prostředek = přináší hodnoty. Též je zřejmé, že existuje zpětná vazba ze sledování provozní spolehlivosti, která povede až k inovační rekonstrukci nespolehlivého konstrukčního uzlu nebo jeho částí.

2.3. Požadavky na provozní spolehlivost

Chceme-li naplnit již uvedenou nutnost systémově procesního pojmání údržby jako nástroje zajištění provozní spolehlivosti, tak jsme nuceni používat takové postupy a procesy, které nám umožní realizovat stanovené cíle, strategie a koncepce, viz následující obrázek.



3.Hodnocení účinnosti údržby

Náklady na údržbu jsou nutné k obnovení funkce výrobního zařízení, proto je nutnost se zabývat ekonomickou efektivností a hodnocením údržby.

- Problém který musíme řešit:
 - *Náklady na údržbu x minimalizace prostojů (nečinnost zařízení)*
- Není zřejmý poměr nákladů a výdajů
 - Přímé (Snadný výpočet – náhradní díly, maziva...)
 - Těžké hodnotit vliv údržby na poruchy, snížení kvality, ztrát...

Efektivní produktivní provozování přináší:

- Přínos pro zařízení
- Přínos pro lidi (obsahu)
- Přínos pro provoz zařízení

Pro skutečné náklady platí, že 7/8 nákladů je skryto, nebo těžko zjistitelných. Patrné to je z diagramu, tzv. „**Ledovec nákladů**“.



3.1. Celková účinnost zařízení

CEZ - míra využití x míra výkonu x míra kvality

OEE – „Overall Equipment Effectiveness“

Míra využití dostupnosti – ztráty vlivem poruch, přestavby, nastavení a seřízení

Míra využití = $\frac{\text{Doba možného provozu zařízení} - \text{prastoje}}{\text{Doba možného provozu zařízení}}$

Míra výkonu – ztráty vlivem nevyužitých prostojů, vlivem snížené rychlosti a menších přerušení.

Míra výkonu = $\frac{\text{počet vyrobených kusů} \times \text{takt (ideální cyklus)}}{\text{doba možného provozu zařízení} - \text{prastoje}}$

Míra kvality – ztráty vlivem vadných výrobků, rozjedu výroby, předělávky.

Míra kvality = $\frac{\text{počet vyrobených kusů} - \text{zmetky} - \text{více práce}}{\text{počet vyrobených kusů}}$

$CEZ = \frac{\text{počet kvalitních výrobků} \times \text{ideální cyklus}}{\text{doba možného provozu stroje}}$

Zlepšení CEZ o 1% odpovídá 5-20 % nákladům na údržbu!

3.2. Komplexní metody hodnocení účinnosti údržby

- Celková účinnost údržby
 - Index účinnosti údržby
 - Křivka ukazatelů údržby
 - Audit údržby
- Rizika údržby (metody posuzování)
 - FME/FMECA – analýza způsobu a důsledku poruch + následnosti a kritičnosti
 - FTA – strom poruch
 - ETA – strom událostí

4. Rizika údržby

Nebezpečí – vlastnost objektu způsobit negativní jev

Ohrožení – možnost aktivizace nebezpečí

Riziko – akceptovatelná forma dané činnosti (vědomí výskytu potenciálního nebezpečí a jeho rozsahu)

4.1. Analýza stromu poruch FTA – postup

- Definuje se analyzovaná událost a zjišťují se možné příčiny a druhy poruchových stavů
- Rozvoj vrcholné úrovně na jevy nižší úrovně (Hledají se možné příčiny nadřazené události)
- Popisují se příčiny poruchového stavu (Co, Kde, Jak, Proč)

- Provedení analýz, jejímž výstupem je:
 - Soupis kombinace možných druhů poruch a příčin
 - Pravděpodobnost, s jakou může událost nastat

4.2. Analýza stromu událostí ETA - postup

- Proti FTA je postup opačný – hledají se účinky stavů součástky na celý systém
- Užívá se často jako doplnění FTA analýzy

4.3. Rizikové faktory v údržbě

- Riziko údržby je součin pravděpodobnosti vzniku poruchy a důsledku
- Hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy:

$$P_i = \frac{n_i}{H \cdot N - Pr}$$

- P_i – hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy
- n_i – počet oprav i-té kategorie důležitosti daného uzlu
- H – počet hodin práce za den
- N – počet dní v roce
- Pr – prostoj daného uzlu v dané kategorii důležitosti

- Důsledek vzniku poruchy

$$D_i = \frac{m \cdot c + U_i}{H \cdot N}$$

- D_i – důsledek vzniku poruchy
- m – množství výrobků za rok na daném uzlu
- c – cena výrobku
- H – počet hodin práce za den
- N – počet dní v roce
- U_i – celkové roční náklady na údržbu daného uzlu

- Riziko údržby je součin pravděpodobnosti vzniku poruchy a jejího důsledku

$$R_i = D_i \cdot P_i$$

- R_i – hodnota rizika údržby
- D_i – důsledek vzniku poruchy
- P_i – hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy

5. Kompaktní audit údržby

Kontrola zavedeného systému managementu organizační jednotky a zjišťování neshody porovnáním s normami, dokumentací apod.

Dělení

- Audit systému
- Audit procesu
- Audit operace

Části kompaktního auditu údržby:

- Benchmarking údržby
- Outsourcing údržby
- Locators study údržby
- Jakost managementu údržby
- Riziková analýza
- Kvantifikace provozní spolehlivosti

5.1. Benchmarking

Jedná se o nepřetržitý a systematický proces porovnávání a měření produktů, procesů a metod vlastní organizace s těmi, kdo byli uznáni jako vhodní pro toto měření, za účelem definovat cíle zlepšování vlastních aktivit.

Obecný postup Benchmarkingu

- Stanoví se položky pro porovnávání
- Stanoví se, s kým se bude provádět porovnávání
- Začneme shromažďovat údaje o výkonnosti procesu a potřebách zákazníka

- Orientačně porovnáme procesy a zjistíme příležitosti ke zlepšení jakosti

Cíle Benchmarkingu:

- Úspory nákladů
- Zvýšení spokojenosti zákazníků
- Porozumění výkonnosti na úrovni světové třídy
- Lepší rozhodování
- Stanovení náročnějších cílů
- Urychlení procesu změny

5.2. Outsourcing

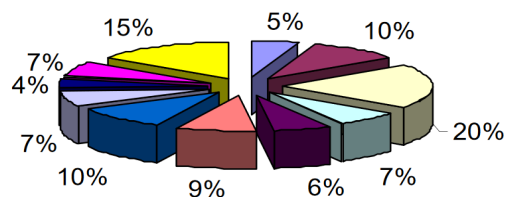
Outsourcing = outside resource using

- Využívání vnějších zdrojů
- Zajišťování výkonů, které nepatří mezi klíčové schopnosti auditované firmy

Cíle outsourcingu:

- Provádění vybraných činností rychleji, bezpečněji a levněji
- Snížení počtu vlastních pracovníků
- Koncentrace vlastních zdrojů na klíčové kompetence

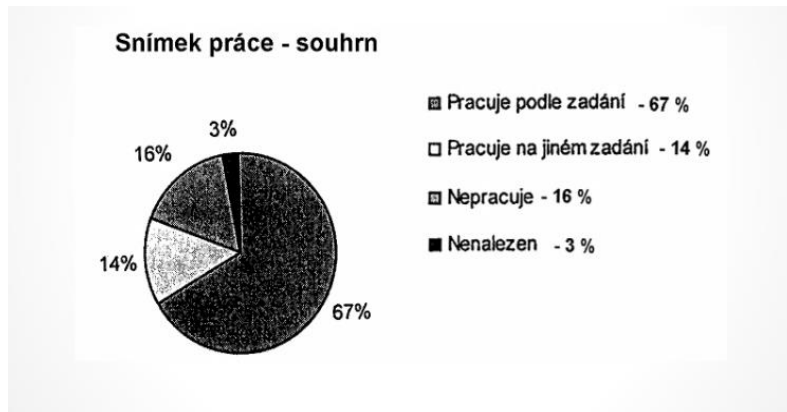
Jaké služby se outsourcují?



■ Doprava	■ Nemovitosti	■ Informační technologie
■ Výroba	■ Marketing a prodej	■ Human Resources
■ Distribuce a logistika	■ Finance	■ Management
■ Služby zákazníkům	■ Administrativa	

5.3. Locators study údržby

- Studie využití pracovníků údržby
- Studie zobrazuje skutečné pracovní vytížení a využití během pracovní doby



5.4. Riziková analýza

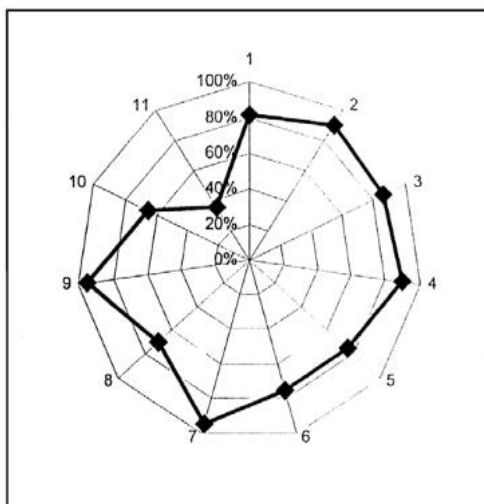
Určuje pravděpodobnosti havárie a jejich následných důsledků pomocí metod. např. FMEA, FMECA, FTA, ETA, HAZOP apod.

5.5. Kvantifikace provozní spolehlivosti

Matematickým základem kvantifikace spolehlivosti je počet pravděpodobnosti a matematická statistika. Tyto nástroje jsou potřebné k popisu a analýze náhodných jevů a procesů odpovídajících procesu poruch a obnovy.

5.6. Jakost managementu údržby

Ve své podstatě se jedná o kvantifikaci odpovědi na 11 okruhů otázek, které se vyhodnocují do tzv. paprskového diagramu.



1. Charakteristika podnikatelských činností a výrobních zařízení v organizaci
2. Strategie a systémy údržby v organizaci
3. Organizace a řízení personálu v údržbě
4. Administrativa údržby
5. Preventivní údržba
6. Plánování, rozvrhování a pracovní příkazy v údržbě
7. Realizace údržbářských procesů
8. Záznamy o historii údržby výrobních zařízení
9. Nakupování, skladování a řízení zásob náhradních dílů a materiálu
10. Měření účinnosti a efektivity údržby, její zlepšování a hodnocení spokojenosti zákazníků
11. Počítačová podpora řízení údržby

6. Řízení spolehlivosti

6.1. Definice

Spolehlivost - Podle ČSN 010102 je spolehlivost charakterizována:

„obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek“

Tato definice je doplněna několika vysvětlujícími poznámkami:

- Spolehlivost je komplexní vlastnost, která může zahrnovat např. bezporuchovost, životnost, udržitelnost a skladovatelnost, buď jednotlivě, nebo v kombinaci
- Technickými podmínkami se rozumí souhrn specifikací technických vlastností, předepsaných pro požadovanou funkci objektu, dále způsoby jeho provozu, skladování, přepravy, údržby a opravy
- Provozní ukazatele jsou ukazatele produktivity, rychlosti, spotřeby elektrické energie, paliva, apod.

6.2. Nástroje řízení spolehlivosti

- Plán spolehlivosti
- Program spolehlivosti
- Metody spolehlivosti
- Zkoušky spolehlivosti
- Normy spolehlivosti
- Školení a zvyšování kvalifikace v oblasti spolehlivosti

6.3. Potřeba řízení spolehlivosti

- Na zabezpečování spolehlivosti se podílejí všechny útvary firmy, více činnostmi, které musejí za sebou následovat v přesném vymezeném pořadí a v určitých časových okamžicích a rozsahu. Tím vzniká nutnost působení činností koordinovat, aby se z výchozí úrovně spolehlivosti při jeho instalaci dosáhlo zákazníkovo požadované spolehlivosti.
- Řízení spolehlivosti se vykonává v souladu se systémem vyplývající pro jednotlivé

útvary firmy rozdílné úlohy (počet a náročnost), pravomocí a zodpovědnosti

- Řízení spolehlivosti se rozumí hlavně koordinaci působení všech činností a aktivit vyplývajících na tvorbu a zabezpečení spolehlivosti v souladu s normami a další legislativou,

která se zabývá spolehlivostí.

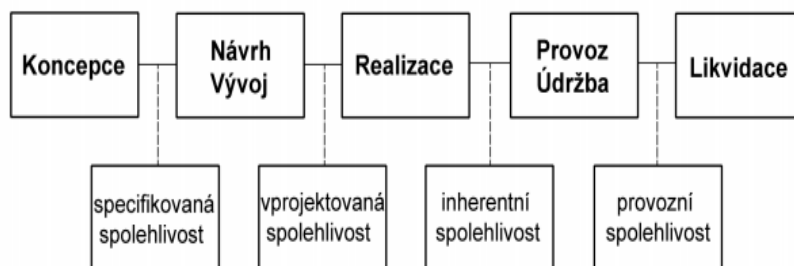
- Přitom jde o zabezpečování spolehlivosti v etapě provozu, která tvoří nejdelší etapu.
- Spolehlivosti je potřeba věnovat značnou pozornost.
- Protože čím složitější objekt, tím nepříznivé jsou podmínky a čím větší jsou následky z nespolehlivosti, tím větší je potřeba až nezbytnost řídit spolehlivost jeho provozu, tj. cílevědomě působit na její zajišťování.

6.4. Spolehlivost v jednotlivých etapách životního cyklu produktu

Spolehlivostní disciplíny jsou uplatňovány ve všech životních etapách produktu, přičemž životní cyklus můžeme definovat dle normy ČSN EN 13306 Údržba – Terminologie údržby

Jedná se konkrétně o:

- Koncepti (specifikaci) požadavků na zařízení, jeho výkonnost, spolehlivost a životnost – tzv. specifikovaná spolehlivost
- Návrh a vývoj parametrů zařízení, podmínek bezporuchovosti a udržitelnosti, tzv. „vprojektování“ spolehlivosti.
- Realizaci (výrobu) – zadání poptávky, výběr a instalaci zařízení – zde se pracuje s inherentní spolehlivostí.
- Provoz a údržbu – kolaudaci zařízení a jeho uvedení do trvalého provozu, vzhledem k různým provozním podmínkám u různých zákazníků zde mluvíme o provozní spolehlivosti
- Likvidaci – vypořádání se s nefunkčním nebo nepoužívaným strojem.



6.5. Vanová křivka

Rozdělit životní cyklus objektu lze i jinak. Jednu z možností nabízí vanová křivka, která rozděluje životní cyklus výrobku na 3 etapy.

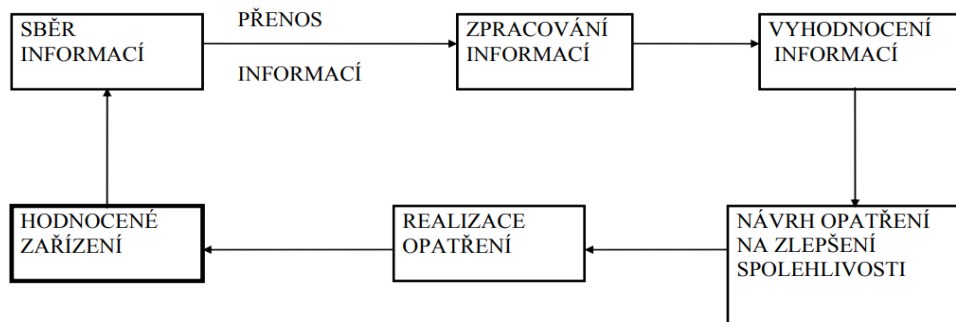


- zóna – období časných poruch – v této zóně dochází k rychlému poklesu intenzity poruch. Vysoká četnost je zpočátku způsobena záběhem, při kterém se projevují poruchy způsobené chybami při výrobě, montáži nebo návrhu objektu
- zóna – období normálního provozu – jedná se o dlouhé období, které také nazýváme obdobím normálního užití. Výrobek je používán ke svému účelu s přibližně 26 konstantním výskytem poruch. K poruchům dochází převážně z vnějších příčin, nevyskytuje se opotřebení ovlivňující vlastnosti objektu
- zóna – období stárnutí – dochází k růstu intenzity poruch vlivem stárnutí materiálu a opotřebení. Po překročení únosné intenzity poruch dochází k odstavení a vyřazení objektu z provozu.

6.6. Zpětná vazba

- Důležitou částí řízení spolehlivosti je zpětná vazba
- Prostřednictvím zpětné vazby se útvary zajišťující provoz dozvědí o:

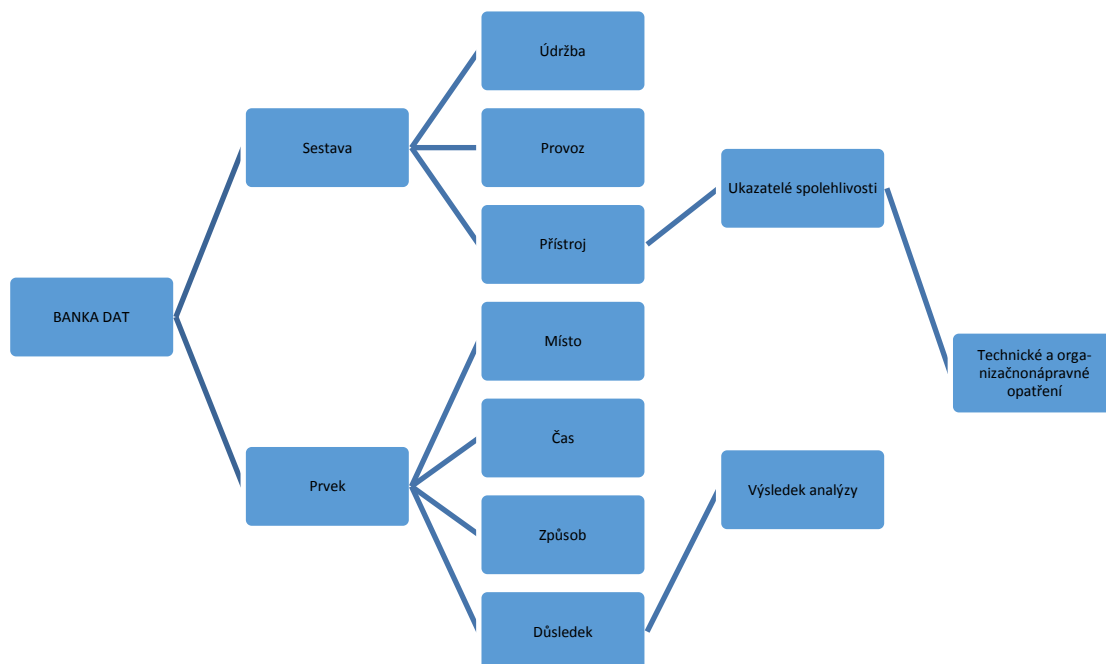
- Rozdílem mezi požadovanou a skutečnou dosahovanou spolehlivostí
- Příčinám vzniknutého rozdílu



6.7. Informační podklady potřebné pro řízení spolehlivosti

Důležitá část:

- Rozbory spolehlivosti
- Banka dat spolehlivosti



7. Metody řízení spolehlivosti

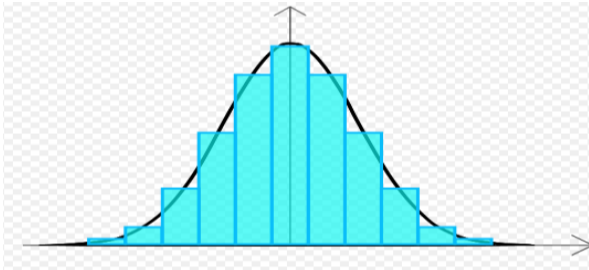
K významným metodám analýzy spolehlivosti a diagnostiky nedostatků v provozní

spolehlivosti v rámci řízení spolehlivosti patří:

- Histogram
- Trend
- Paretův diagram
- Ishikawa diagram

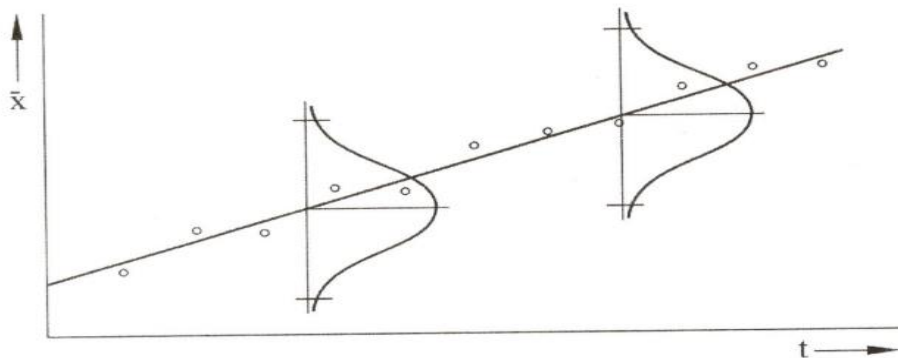
7.1. Histogram

Histogram je grafické znázornění distribuce dat pomocí sloupcového grafu se sloupci stejné šířky, vyjadřující šířku intervalů(tříd), přičemž výška sloupců vyjadřuje četnost sledované veličiny v daném intervalu.



7.2. Trend

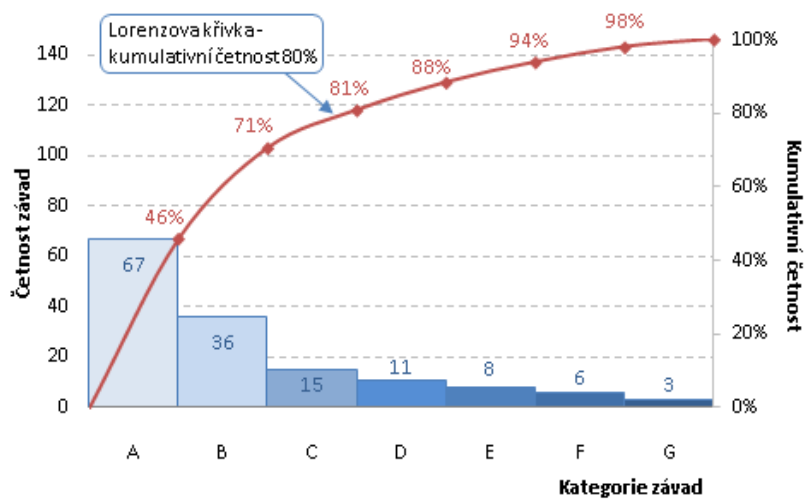
Vývoj změn ukazatele spolehlivosti v čase



7.3. Paretův diagram

Paretův diagram, pojmenovaný podle Vilfreda Pareta, je typ grafu, který je kombinací sloupcového a čárového grafu, kde sloupce znázorňující četnost pro jednotlivé kategorie jsou seřazeny podle velikosti (nejvyšší sloupec vlevo, nejnižší vpravo) a linie představuje kumulativní četnost v procentech. Paretův diagram se používá ke znázornění důležitosti jednotlivých kategorií.

Paretův diagram je vhodné použít při analýze četnosti incidentů daného procesu, které mohou mít vícero příčin, a je třeba určit nejvýznamnější příčiny. Při konstrukci Paretova grafu je nutné určit kategorie, které se budou zobrazovat, jaké veličiny se budou měřit a jakého časového úseku se bude měření týkat.

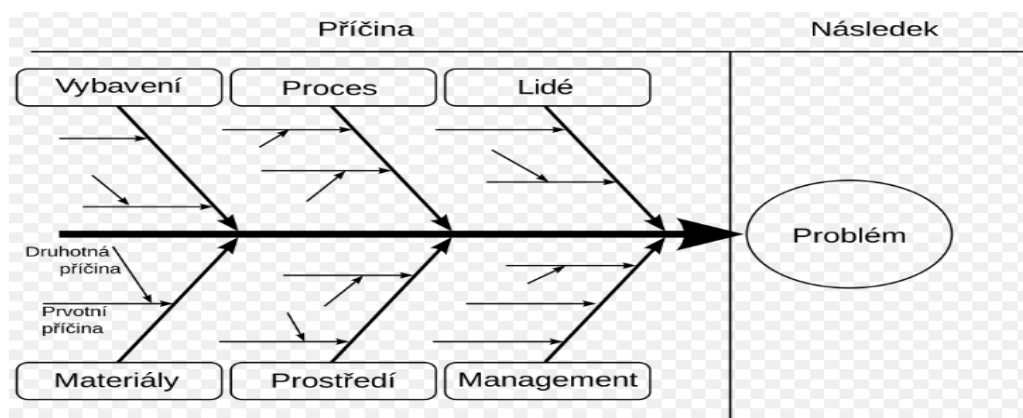


7.4. Ishikawa diagram

Je to diagram příčin a následků

Řeší úlohu určení pravděpodobné příčiny problému

Ishikawův diagram je jedním ze sedmi základních nástrojů zlepšování kvality



8. Zkoušení spolehlivosti a zkušební plány

Cílem zkoušek spolehlivosti je získat informace, ze kterých se odvozují ukazatele spolehlivosti na základě sledování objektu v průběhu zkoušky spolehlivosti.

8.1. Členění zkoušek spolehlivosti

- podle dílčí vlastnosti spolehlivosti
- podle rozhodnutí, jak bude naloženo s objekty, u kterých dojde v průběhu zkoušky spolehlivosti k poruše
- podle ukončení zkoušek spolehlivosti
- podle bližšího účelu zkoušky
- podle místa, kde se zkouška spolehlivosti koná
- podle etapy vzniku výrobku

Podle toho, na kterou dílčí vlastnost spolehlivosti je zkouška zaměřena, rozeznáváme zkoušky:

- bezporuchovosti
- životnosti
- udržitelnosti
- opravitelnosti
- skladovatelnosti
- pohotovosti

Podle rozhodnutí, jak bude naloženo s objekty, u kterých dojde v průběhu zkoušky spolehlivosti k poruše

- **bez obnovy** – po výskytu poruchy se provozní schopnost objektu neobnovuje a zkouška pokračuje se zmenšeným počtem zkoušených prvků
- **s obnovou** – provozní schopnost objektu se obnoví opravou nebo výměnou

Podle ukončení zkoušek spolehlivosti

- **zkrácené** – ukončují se dříve, než dojde k poruše všech zkoušených objektů
- **zrychlené** – provádějí se za zpřísněných funkčních a vnějších podmínek, tedy za podmínek, které se při běžném používání nevyskytují

Podle bližšího účelu zkoušky

- **určovací** – zjišťuje se u nich hodnota ukazatelů spolehlivosti zkoumaného objektu poprvé
- **ověřovací** – zjištěná hodnota ukazatelů spolehlivosti porovnává s předepsanou nebo požadovanou hodnotou

Podle místa, kde se zkouška spolehlivosti koná

- **zkoušky laboratorní** – prováděny v předepsaných laboratorních podmínkách
- **zkoušky simulační** – prováděny v laboratorních podmínkách, pokud tyto podmínky napodobují provozní podmínky
- **zkoušky provozní** – prováděny ve stanovených provozních podmínkách
- **zkušební provoz** – prováděny v podmínkách, které odpovídají skutečnému provozu

Podle etapy vzniku výrobku

- **zkoušky vývojové**
- **zkoušky výrobní**

Plánování zkoušek spolehlivosti popisuje soubor hlavních činností prováděných v chronologickém pořadí. Patří sem:

- Popis požadované funkce, kterou má zkoušený objekt plnit
- Stanovení měřicí metody, pomocí které se objekt sleduje v průběhu zkoušky, aby mohly zjistit případné výskyty poruch
- Specifikace a zabezpečení vhodných měřicích a registračních postupů pro průběžné sledování funkce zkoušeného objektu i pro kontrolu a registraci provozních podmínek, kterým je zkoušen objekt vystaven v průběhu zkoušky
- Stanovení kritické poruchy, tj. mezi jednotlivých měřených parametrů nebo jiných znaků, které charakterizují funkci zkoušeného objektu a při jejich překročení se objekt považuje za porušený
- Stanovení zkušebního plánu

8.2. Zkušební plány

Zkušební plán je soubor pravidel, podle kterých je nutné postupovat při získávání údajů pro odhady ukazatelů spolehlivosti.

Zkušební plán je označen kombinací tří symbolů, kde na prvním místě je uveden počet zkoušených objektů n , na druhém místě je uveden symbol U, R, nebo M, vztažený

k nahrazování, resp. k obnově porušených prvků a na třetím místě je buď r- jeli zkouška ukončena při výskytu r-té chyby, nebo t- při ukončení zkoušky po uplynutí předepsané doby t.

Příklad:

$[n, U, n]$ – pozoruje se n objektů. Objekty v poruchovém stavu se nenahrazují a neobnovují se. Pozorování končí tehdy, když se počet poruchových stavů rovná n .

$[n, U, t]$ – pozoruje se n objektů. Objekty v poruchovém stavu se nenahrazují a neobnovují se. Pozorování končí tehdy, kdy uplyne doba t .

8.3. Metodika zkoušky

Obsahuje hlavně odborné informace a technické podklady ke zkoušce:

- druh zkoušky, název
- účel zkoušky, závaznost, platnost
- soupis zkoušených a hodnocených parametrů
- kvalitativní hodnoty parametrů
- postup zkoušení
- soupis zkušebních přístrojů, zařízení a pomůcek
- schéma zapojení zkušebního zařízení
- specifikaci výrobků a jejich konstrukčních částí, pro které je metodika vhodná
- algoritmy, matematické metody a vztahy pro vyhodnocení zkoušky
- software pro vyhodnocení zkoušky a tisk protokolu ze zkoušky
- přesnost zkušební metody a odpovídající věrohodnost výsledku zkoušky
- záhlaví tabulky pro sběr dat ze zkoušky
- podmínky zkoušky
- specifikaci zkušebních podmínek
- zatížení od parametrů pracovního prostředí
- počet zkoušených kusů
- délka trvání zkoušky
- zkušební cyklus
- kritéria pro posuzování výsledků
- omezující podmínky
- název organizace a autora metodiky, jeho odpovědného pracovníka a podpis
- soupis norem, předpisů a podkladů, na základě kterých byla metodika zkoušky vypracována

9. Modelování a kvantifikace spolehlivosti systémů

9.1. Spolehlivost systémů

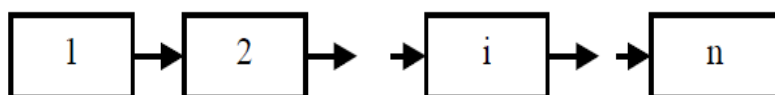
Spolehlivost lze chápat jako schopnost systému, tedy výrobku, součástky, stroje, software, apod., plnit požadovanou funkci. Vysoká spolehlivost systému se požaduje zejména u systémů, na jejichž správné funkci závisí chod kritických aplikací nebo dokonce lidský život. Spolehlivost systému ovlivňují prvky ze kterých je systém sestaven a počet prvků, které tvoří daný systém. Dále nám spolehlivost systému ovlivňuje jeho sestavení a zapojení prvků do systému. Spolehlivost systému se mění také podle provozních podmínek v kterých systém pracuje. Příkladem je letecké vybavení, které je opakovaně během jednotlivých letů vystavováno velmi dynamickým změnám okolních podmínek. Z matematického pohledu je spolehlivost definována jako pravděpodobnost, že činnost systému bude během určené doby za daných provozních podmínek přiměřená účelu systému.

Modely spolehlivosti

- Sériový model spolehlivosti
- Paralelní model spolehlivosti
- Kombinovaný sériově-paralelní systém

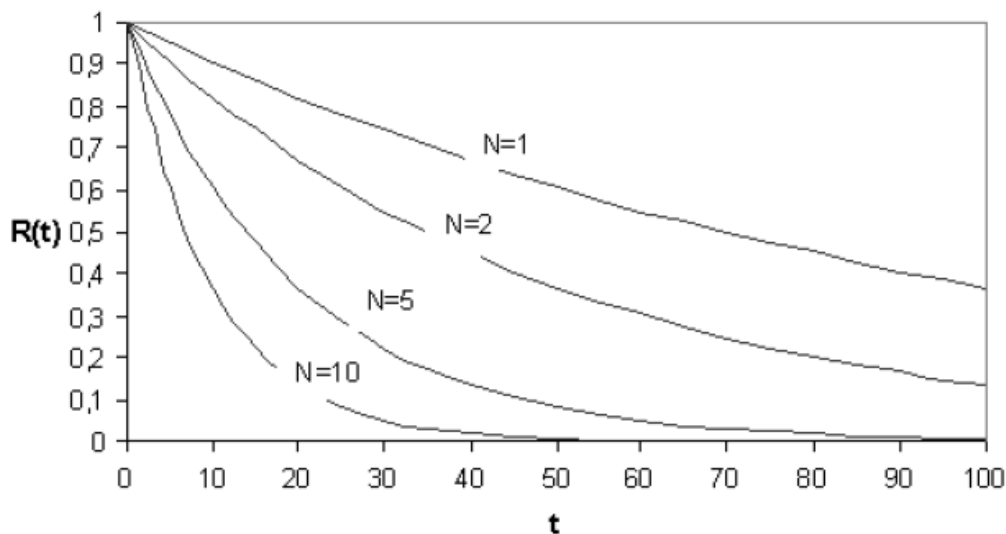
9.2. Sériový model spolehlivosti

Sériový systém je zapojení n prvků v sérii (za sebou), kdy porucha libovolného prvku má za následek poruchu celého systému. Blokové schéma je na obr.4.1. Bloky v zapojení odpovídají jednotlivým prvkům. Mezi vstupem a výstupem existuje jediné spojení, které prochází všemi bloky. Tento systém můžeme také zobrazit orientovaným grafem na obrázku.



Obr.4.1 Blokové schéma sériového systému.

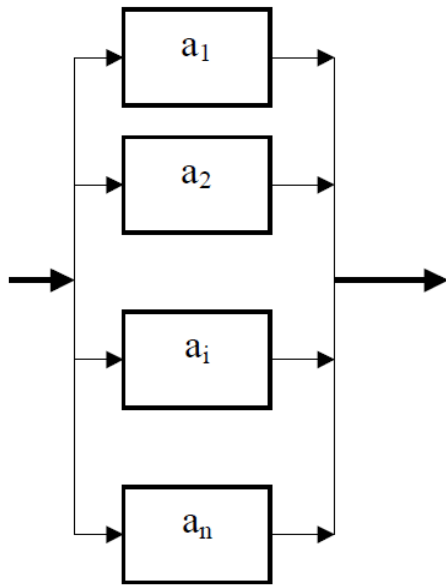
Průběhy $R(t)$ pro sériové spojení jsou pro různý počet prvků uvedeny na obr. 15.



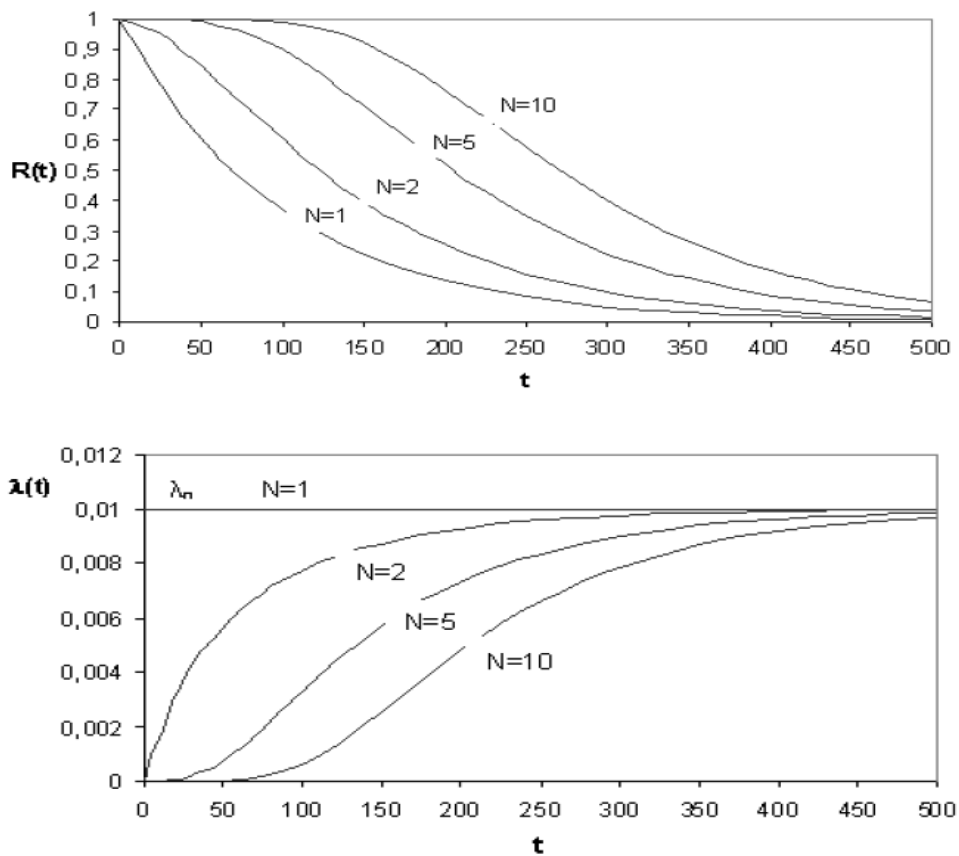
9.3. Paralelní model spolehlivosti

Paralelní systém je zapojení n prvků paralelně (vedle sebe). Porucha systému nastane, dojde-li k poruše všech jeho prvků. Blokové schéma a orientovaný graf paralelní soustavy jsou na obrázku.

K bezporuchovému provozu paralelního systému stačí jeden provozuschopný prvek. Potom můžeme označit takové spojení za nadbytečné nebo záložní a skutečně se ho také velmi často používá právě pro zálohování.



Průběhy pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ pro různý počet paralelně zapojených prvků s exponenciálním rozdělením dob do poruchy jsou vyneseny na obr. 17.

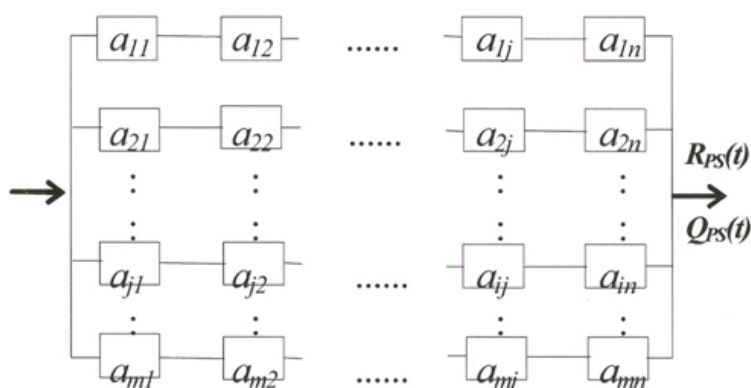


Obr. 17 Průběh $R(t)$ a $\lambda(t)$ pro různé hodnoty počtu paralelně zapojených prvků

9.4. Kombinovaný sériově-paralelní systém

Vzniká kombinací sériových a paralelních zapojení prvků ve spolehlivostním blokovém schématu. Výpočet jednotlivých ukazatelů bezporuchovosti se provádí postupným zjednodušováním dílčích sériových a paralelních zapojení až do úplného zjednodušení.

Při řešení se musí postupně řešit jednotlivé paralelně uspořádané prvky a sériové řetězce a nesmí se přitom zaměnit postup správné metodiky násobení pravděpodobnosti poruchy či bezporuchového stavu. Převod z jednoho parametru do druhého se provádí jednoduchým odečtem od jedničky.



Porovnání $R_{ps}(t)$ a $R_{sp}(t)$

- Při stejných hodnotách R_{ij} a při stejných rozměrech systému m, n je hodnota $R_{sp}(t)$ vždy vyšší než $R_{ps}(t)$ z důvodu že v sériově-paralelním systému existuje vždy větší počet cest ze vstupu na výstup
- Sériově paralelní systém popisuje zálohování každého prvku samostatně zatímco v paralelně sériovém je zálohovaný vždy celý podsystém

10. Výkonnost strojů

Výkon strojů, je potřeba pravidelně sledovat, pro sledování výkonu jsou tři možnosti jak výkon sledovat.

Prvním způsobem je poloautomatické sledování výkonu, kdy dochází k tomu, že vstupní data jsou udávány na strojích automaticky, ovšem pouze tam kde je to možné. Data jsou shromažďována elektronicky. Ovšem dochází k tomu, že část dat je však stále sbírána ručně, pracovníky, kteří jsou k tomu určeni. Tyto nasbíraná data pak kompetentní pracovník zpracuje a vyhodnotí. V těchto případech je již použito informační techniky a to v podobě počítačové techniky a data jsou uložena na disku který je sdílený a odkud jsou sledovány ostatními pracovníky a nebo jsou data přímo rozesílána.

Vstupní data také mohou být pro výpočty sbírána ručně, kdy jsou výpočty z velké části přímo dělány ručně, na papírové formuláře a jsou posléze vyhodnoceny také většinou ručně. Jejich prezentace probíhá zpravidla pouze několikrát do roka na vybraném významném místě firmy. Nevýhodou této metody je závislost na lidském faktoru, nepřesnost, časté výpadky dat z různých důvodů a tím nevěrohodnost.

Metoda kdy se data o výkonu stroje sbírají automaticky vypadá tak že strojní vybavení i pracoviště jsou vybavena terminály, kde jsou data sbírána automaticky a to průchodem výrobku po lince. Na kontrolních pracovištích pracovník zadává data taktéž do počítače. Tato data jsou shromažďována v informačním systému, kde jsou také. V tomto případě je téměř zanedbatelná lidská chyba a data mají vysokou věrohodnost a přesnost. Výsledky z takových procesů jsou vysoce ceněny. Jakási nevýhoda tohoto způsobu sběru dat je vysoká pořizovací cena, avšak potom již "téměř nulové náklady" na denní sběr dat.

10.1. Elektrický výkon

Výkon strojů se liší, ovšem vždy je základem stroje nějaký zdroj výkonu, mohou to být například servo motory, elektro motory, a další typy zdrojů výkonu. Ve strojírenství se dá říci, že výkon strojů je dán elektrickými zdroji a to zejména u obráběcích strojů a dalších strojů využívaných ve strojírenství. Tento výkon elektrických strojů se nazývá jmenovitý výkon. Jmenovitá výkonnost musí být stanovena výrobcem. Při stanovení jmenovité výkonnosti musí výrobce zvolit jednu ze tříd jmenovité výkonnosti. Označení třídy jmenovité výkonnosti musí být uvedeno za jmenovitým výkonem. Pokud není uvedeno žádné označení, platí jmenovitá výkonnost pro trvalé zatížení. Jmenovitý výkon lze rozdělit pro čtyři druhy zdrojů výkonu. U stejnosměrných generátorů se jedná o jmenovitý výkon, který u strojů můžeme změřit na svorkách. Dalším typem zdroje jsou střídavé generátory, kdy jmenovitý výkon je zdánlivý výkon na svorkách a vyjadřuje se ve voltampérech, na rozdíl od stejnosměrného generátor kdy se výkon udává ve wattech.

Jedním z nepoužívanějších zdrojů výkonu u strojů jsou elektrické motory, kdy jejich jmenovitý výkon je mechanický výkon, který je na hřídeli motoru, tento výkon se vyjadřuje také ve watttech. Čtvrtým a posledním typem, který se toliko nepoužívá ale jistě stojí za zmínku jsou synchronní kompenzátory, kdy jmenovitý výkon je jalový výkon na svorkách a udává se v jalových voltampérech.

10.2. Třídy jmenovité výkonnosti

Jmenovitá výkonnost pro trvalé zatížení

Jmenovitá výkonnost, při níž může stroj pracovat po neomezenou dobu, přičemž vyhovuje požadavkům.

Tato třída jmenovité výkonnosti odpovídá druhu zatížení S1 a je označována jako jmenovitá výkonnost pro druh zatížení S1.

Jmenovitá výkonnost pro krátkodobý chod

Jmenovitá výkonnost, při níž může stroj pracovat po omezenou dobu, počínaje od teploty okolí, přičemž vyhovuje požadavkům.

Tato třída jmenovité výkonnosti odpovídá druhu zatížení S2 a je označována jako jmenovitá výkonnost pro druh zatížení S2.

Jmenovitá výkonnost pro periodické zatížení

Jmenovitá výkonnost, při níž může stroj pracovat v pracovních cyklech, přičemž vyhovuje požadavkům.

Tato třída jmenovité výkonnosti odpovídá jednomu z druhů periodického zatížení S3 až S8 a je označována jako jmenovitá výkonnost pro příslušný druh zatížení.

Pokud není stanoveno jinak, doba trvání pracovního cyklu musí být 10 minut.

Jmenovitá výkonnost pro zatížení s nespojitými konstantními zatíženími a otáčkami

Jmenovitá výkonnost, při níž může stroj pracovat s příslušným zatíženími a otáčkami druhu zatížení S10 po neomezenou dobu, přičemž vyhovuje požadavkům. Při stanovení maximálního dovoleného zatížení během jednoho cyklu je nutno vzít v úvahu všechny části stroje, např. izolační systém, s ohledem na platnost exponenciálního pravidla pro relativní předpokládanou tepelnou životnost, ložiska se zřetelem na teplotu, jiné části se zřetelem na roztažení teplem. Pokud není maximální zatížení stanoveno v jiných

odpovídajících normách IEC, nesmí překročit 1,15násobek hodnoty zatížení vycházejícího z druhu zatížení S1. Minimální zatížení může mít nulovou hodnotu, přičemž stroj pracuje naprázdno nebo je odpojen a v klidu.

Tato třída jmenovité výkonnosti odpovídá druhu zatížení S10 a je označována jako jmenovitá výkonnost pro druh zatížení S10.

Jmenovitá výkonnost pro ekvivalentní zatížení

Jmenovitá výkonnost pro účely zkoušek, při níž může stroj pracovat při konstantním zatížení až do dosažení ustálené teploty a při které se dosáhne stejného oteplení vinutí statoru jako je průměrná hodnota oteplení během pracovního cyklu se stanoveným druhem zatížení.

Stroj, vyrobený pro všeobecné použití, musí mít jmenovitou výkonnost pro trvalé zatížení a musí být schopen pracovat při druhu zatížení S1.

Nebyl-li průběh zatížení odběratelem stanoven, platí druh zatížení S1 a přiřazená jmenovitá výkonnost musí být jmenovitou výkonností pro trvalé zatížení.

Je-li stroj určen pro jmenovitou výkonnost pro krátkodobý chod, jmenovitá výkonnost musí vycházet z druhu zatížení S2.

Je-li stroj určen pro proměnná zatížení nebo pro zatížení zahrnující dobu chodu naprázdno nebo doby odpojení a klidu, jmenovitá výkonnost musí být jmenovitou výkonností pro periodické zatížení, vycházející ze zvoleného druhu zatížení S3 až S8.

Je-li stroj určen pro neperiodická proměnná zatížení při proměnných otáčkách, včetně přetížení, jmenovitá výkonnost musí být jmenovitou výkonností pro neperiodická zatížení vycházející z druhu zatížení S9.

Je-li stroj určen pro nespojitá stálá zatížení, včetně dob přetížení nebo dob chodu naprázdno, jmenovitá výkonnost musí být jmenovitou výkonností s nespojitými stálými zatíženími, vycházející z druhu zatížení S10.

Značky typu Sx jsou druhy zařízení obsažené v normách.

11. Výkonnost obráběcího stroje a jeho provozní nasazení

Výkonnost obráběcího stroje má stoupající rozhodující vliv na účinnost výroby a kvalitu výrobku. Dnešní zákazníci hledají výrobce obráběcích strojů, které splní jejich požadavky na vysokou výkonnost. Být konkurenci schopným na světovém trhu znamená dodávat obráběcí stroje, které hlavně obsahují vysoké otáčky a přesnost.

Stejně jsou požadovány stroje a díly, které jsou více spolehlivé a energeticky účinné. Provozovatelé žádají výroby s malou údržbou s nízkými dopady na životní prostředí, i nižšími provozními náklady. Na tom závisí ziskovost.

11.1. Pracovní výkon stroje

Pracovní výkon Q automatizovaných výrobních linek je výkon, jehož je dosaženo při skutečném provozu. Je považován za základní a přísluší mu určitý technologický, cyklový a skutečný výkon.

Technologický výkon – udává množství obrobků obrobených daným zařízením za jednotku času, a to při plném využití možností technologického postupu.

Cyklový výkon – udává maximální výkon při dosažení všech projektovaných parametrů při bezporuchovém provozu. Stanovení cyklového výkonu vychází z předpokladu, že automatizovaná linka pracuje nepřetržitě bez závad a prostojů.

Skutečný výkon – je dán prací v reálných podmínkách, kdy je třeba uvažovat jednak čas práce bez přerušení, jednak čas s prostoji vyvolanými výměnou nástrojů, seřizováním apod.

Časy jednotlivých přerušení se v provozu automatizovaných výrobních linek označují pojmem [vněcyklové ztráty](#).

Mohou být vázané na nástroje (výměna, seřizování a další.), vázané na stroj a jeho příslušenství (poruchy mechanismů a řízení.), technicko-organizační, způsobené zmetkovitostí, vázané na změnu výrobního programu.

I když jsou u všech strojů, z nichž se výrobní linka skládá, stejné vlastní ztráty, může být přesto jejich výkon rozdílný s ohledem na různou strukturu linky. Jednotlivé stroje nemají prostoje pouze v důsledku svých vlastních ztrát, ale také prostoje způsobené neplněním funkce sousedních strojů – dochází k [doplňkovým ztrátám](#), jejichž velikost je závislá na struktuře linky.

Vlastní vněcyklové ztráty tvoří:

- **Předpokládané vlastní ztráty** – např. rozběh linky na počátku práce před dosažením pracovní teploty, přejímka směny, plánovaná údržba a výměna nástrojů, kontrola uzlů stroje apod.
- **Náhodné vlastní ztráty** – poruchy nástrojů (vylomení ostří), mechanismů některého stroje v lince, výroba zmetků apod.
- Ztráty náhodného charakteru lze snížit rozdělením linky na jednotlivé úseky, mezi kterými jsou zásobníky obrobků, takže při náhodné poruše není vyřazena z provozu celá linka, ale pouze ta část, ve které se porucha vyskytla a v níž jsou vzájemně funkčně vázány jednotlivé stroje. Takto lze dosáhnout zkrácení prostojů, zvýšení výkonu a využitelnosti linky.

Výkon daného stroje ovlivňují tyto tři základní oblasti pracovního cyklu:

automatický pracovní cyklus stroje, sled funkcí na stroji, upínání obrobků a manipulace s nimi, manipulace s nástroji a měření rozměrů obrobku, příp. polohy břitu nástroje.

Pro uživatele je podstatný celkový výkon stavebnicového obráběcího jednoúčelového stroje určený:

požadovaným počtem obrobků zhotovených na uvažovaném stroji za určitý časový úsek, směnností stroje.

Odtud se celkový výkon stanoví jako časová kapacita pro výrobu jednoho kusu obrobku na uvažovaném stroji:

$$tpc = (60 * Sp * H * Dd * \tau) / Nr$$

kde:

tpc - je maximální celkový čas na výrobu jednoho obrobku

Sp - počet pracovních směn za 1 den

H - počet pracovních hodin za směnu

Dd - počet pracovních dnů v roce

τ - součinitel využití stroje (volí se 0,7 až 0,85)

Nr - požadovaná roční produkce v kusech.

11.2. Provozní nasazení strojů

Pracovní nasazení stroje je to kdy stroj je schopen nastoupit do plného provozu a tím vyrábět, či vykonávat činnost na kterou je určený. Provozní nasazení strojů se odvíjí od pravidelné a řádné údržby strojů. Jelikož stroje jako takové jsou převážně konstruovány na to aby po zapnutí byli ihned připraveni k práci, samozřejmě včetně počátečních nastavených parametrů.

Údržba strojů

Obecná definice údržby je: Údržba je kombinace všech technických, administrativních a manažerských činností během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci.

Cílem údržby strojů je udržovat výrobní zařízení v technicky dobrém a provozuschopném stavu při vynakládání optimálních nákladů.

Pohotovost je schopnost stroje být ve stavu schopném vykonávat požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější zdroje to vše závisí na bezporuchovosti, udržovatelnosti, zajištěnosti údržby.

Bezporuchovost je schopnost objektu vykonávat požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu. Udržovatelnost je schopnost stroje v daných podmínkách používat setrvat ve stavu nebo být navrácen do stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci.

Správné zásady údržby obráběcího stroje

Při instalaci a předání nového stroje by mělo být povinností dodavatele podrobně seznámit obsluhu nebo zodpovědného pracovníka s pravidelnou údržbou daného stroje, jakož i s druhy a množstvím jednotlivých náplní stroje.

Stejně jako každá prováděná činnost, i údržba obráběcích strojů by se měla řídit stanovenými zásadami, k nimž patří:

pravidelné a efektivní provádění údržby spočívající ve vypracování časového plánu údržby a jeho důsledném dodržování, vedení provozního deníku každého stroje, kde se provede záznam z každé vykonané údržby. Měla by být zaznamenána i jednotlivá závažnější či náhodná chybová hlášení. Tyto záznamy pak slouží servisním technikům k určení a rychlému odstranění jednotlivých závad, evidence náhradních dílů vedených jako opotřebením provozem stroje, označení a přesná specifikace jednotlivých náplní stroje, vedení komplexního přehledu o prováděném servisním zásahu na jednotlivých strojích a nákladů spojených s odstraněním závady, okamžité odstranění zjištěné závady,

v případě nutného odborného zásahu kontaktování servisního technika.

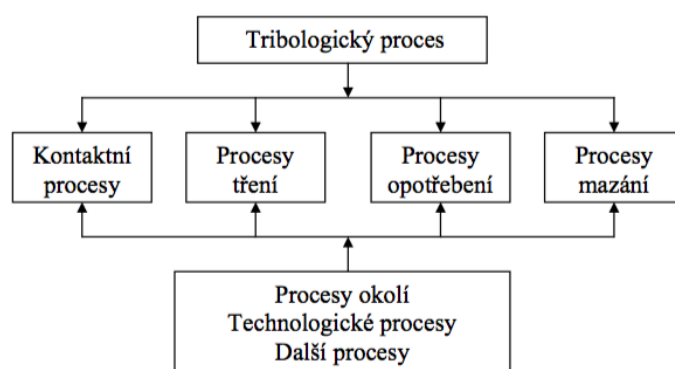
Účelnost provádění pravidelné údržby a kontrolních měření je prokázána v několika směrech: zvýšení životnosti strojů, dlouhodobém zajištění přesnosti strojů, snížení zmetkovitosti, úspore finančních prostředků, zajištění bezpečnosti práce.

Firmy, které již pravidelnou a kvalitní údržbu strojů aplikovaly na své provozy, dnes vykazují nemalé úspory vynakládané na opravu strojů oproti době, kdy se strojům nevěnovala dostatečná pozornost. Dnes již mohou prokazatelně dokázat, že prvotní investice je vlastně úsporou finančních prostředků. Důsledkem zanedbání pravidelné údržby strojů je nízké provozní nasazení strojů.

12. Tribologie a tribotechnika

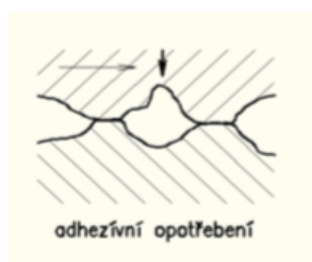
12.1. Tribologie

- Tribologie je vědní obor zabývající se procesy tření, opotřebení a mazáním
- Pohyb kluzný, valivý, nárazový a kmitavý
- Strojírnoství - návrhy ložisek, pístové motory a další stroje a jejich součásti
- Kosmetika - rtěnky, kondicionéry, pudry
- Lékařství - kloubní náhrady



Opotřebení

Adhezivní - je charakteristické oddělováním a přemísťováním částic kovu mezi dvěma stykovými plochami



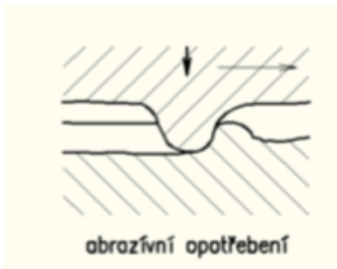
Erozivní - vzniká dopadem částice obsažené v proudícím médiu na povrch funkční plochy



Únavové - vzniká postupnou kumulací poruch v povrchové vrstvě funkčních ploch



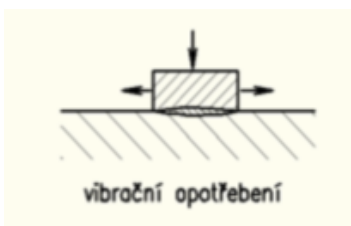
Abrazivní - oddělování částic materiálu vlivem tvrdého a drsného povrchu



Kavitační - oddělování částic materiálu vlivem kavitace proudícího média



Vibrační - oddělování částic materiálu vlivem vzájemných kmitajících pohybů



12.2. Tribotechnika

- je jedním z oborů tribologie, který se zabývá aplikací výsledků tribologie v praxi
- významnou měrou přispívá z efektivnějším využívání strojů v průmyslu

Tribotechnika se zabývá:

- Maziva a zkoušení maziv
- Materiály pro třecí dvojice
- Výpočet, konstrukce a optimalizace třecích dvojic
- Způsob mazání a mazací zařízení
- Vědecké základy pro tření a opotřebení
- Měřicí a kontrolní metody pro tribotechnické pochody
- Speciální technologické postupy vedoucí ke zvýšení odolnosti proti opotřebení
- Organizace techniky mazání v provozu

Ekonomický význam

Pomocí správné aplikace lze dosáhnout významných úspor v řadě oblastí:

- snížení spotřeby energie k pohonu strojů
- zvýšení životnosti strojů a zařízení
- snížení prostojů vzniklých v důsledku poruch a následných oprav
- snížení nákladů na údržbu a opravy strojů
- zvýšení výrobní přesnosti strojů
- snížení investičních nákladů
- snížení nákladů potřebných k zajištění vhodných maziv

Maziva

Hlavním úkolem maziva je:

- snižování tření v místech dotyku dvou těles
- zabezpečení odvodu tepla
- zbavování třecí plochy nečistot
- ochrana kovové plochy před korozí
- Utěsnění mazaných ploch
- Maziva se rozlišují dle druhů, vlastností a dle schopnosti vykonávat potřebnou funkci:
- tekutá maziva (mazací oleje, obráběcí kapaliny)
- plastická maziva (mazací tuky)
- pevná maziva (např. grafit, MoS₂)
- plynná maziva (např. i vzduch).

PLOŠNÉ TVÁŘENÍ

1. Tepelné zpracování

1.1. Účel a základní rozdělení způsobů tepelného zpracování

Správným využitím vlastností kovů a slitin lze např. snížit hmotnost stroje nebo strojního zařízení, anebo použít materiály levnější. Obojí vede ke zvýšení ekonomie výroby.

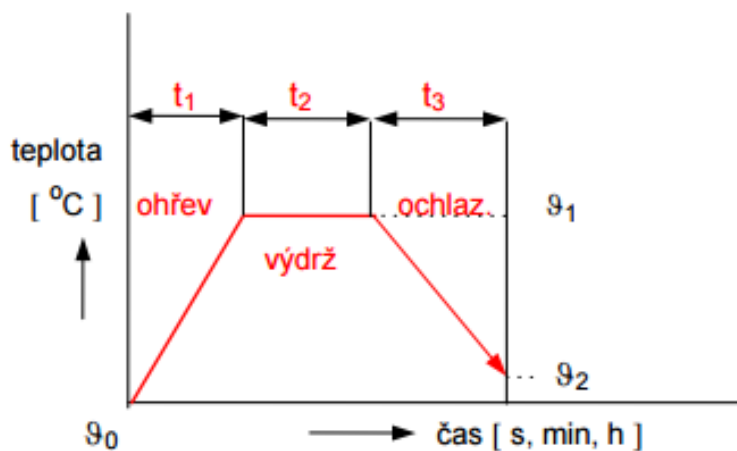
Tepelným zpracováním rozumíme všechny postupy, při nichž předmět nebo materiál v tuhém stavu záměrně ohříváme a ochlazujeme určitým způsobem tak, aby získal požadované vlastnosti.

Jedná se vždy o souhrn následujících operací:

- ohřev na určitou teplotu
- výdrž na této teplotě
- ochlazování určitou rychlostí na danou teplotu

V některých případech mohou tyto operace probíhat vícekrát za sebou za různých podmínek.

Rychlost ohřevu nebo ochlazování c se udává při vysokých rychlostech ve $^{\circ}\text{C}/\text{s}$, při malých rychlostech ve $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, popř. $^{\circ}\text{C}/\text{h}$.



I když obě rychlosti nejsou zákonitě rovnoměrné (závisí na okamžitém teplotním spádu), přesto většinou uvažujeme průměrné rychlosti, které vypočítáme:

a) při ohřevu

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$$

b) při ochlazování

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{t_3}$$

kde: ϑ_0 je výchozí teplota před ohřevem

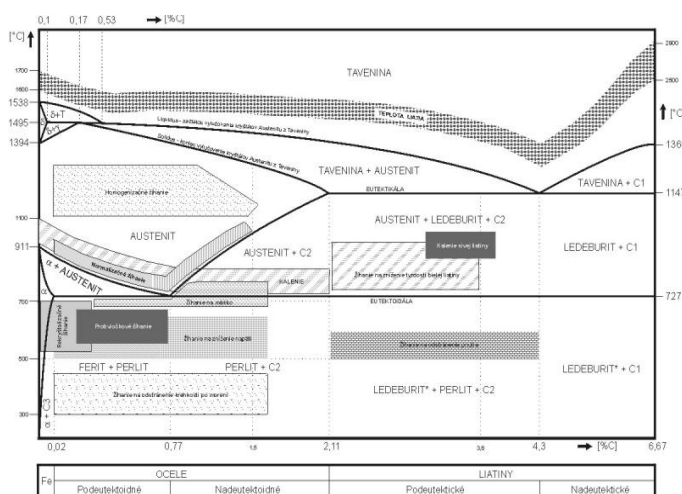
ϑ_1 je teplota ohřevu

ϑ_2 je požadovaná teplota na konci ochlazování

Tepelným zpracováním ovlivňujeme mechanické vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, tažnost, vrubovou houževnatost, odolnost proti opotřebení atd. V mnoha případech je s tím spojena změna struktury, proto se vyžaduje znalost rovnovážných diagramů a fázových změn.

Protože dosažení rovnovážného stavu při fázových změnách v tuhém stavu je zcela určováno difúzí, bude pro výsledek tepelného zpracování rozhodující, jaký vliv bude mít průběh difúze. Průběh difúze je ovlivněn jednak teplotou a jednak výdrží (dobou) na určité teplotě, při níž ještě difúze může probíhat. Právě způsob ovlivnění difúze dělí tepelné zpracování do dvou základních skupin:

- Způsoby tepelného zpracování, které difúzi spíše podporují anebo ji brzdí jen málo. Tyto způsoby nazýváme všeobecně žíháním.
- Způsoby tepelného zpracování, které difúzi podstatně brzdí nebo ji úplně zamezují. Přitom nerovnováha stavu slitiny je zpravidla tím větší, čím větší je rychlost ochlazování. Hlavním představitelem je kalení.



1.2. Žihání

Ve většině případů bývá cílem žihání:

- snížení zbytkových napětí,
- odstranění následků předcházejícího mechanického zpracování,
- zlepšení technologických vlastností (tvařitelnosti za studena, obrobitelnosti),
- zmenšení chemické a strukturní heterogenity.

Rozhodujícím technologickým parametrem žihání je teplota a doba výdrže na teplotě, když ochlazování bývá obvykle velmi pomalé. Žihací teploty jednotlivých postupů vyplývají z rovnovážného diagramu Fe-Fe₃C.

Podle teploty lze rozdělit všechny druhy žihání na:

Žihání na snížení zbytkových napětí. Účelem je snížení vnitřních napětí v materiálu při tuhnutí odlitku, chladnutí po tváření za tepla i po tváření za studena, ale i v povrchových vrstvách po třískovém obrábění. Při teplotě žihání 450 až 650 °C je mez kluzu tak nízká, že se zbytková napětí mohou vyrovnat lokální plastickou deformací. Podle velikosti, tvaru a materiálu součásti je nutná 2 až 10 h výdrž na teplotě s pomalým ochlazováním, aby se předešlo vzniku nových zbytkových napětí.

Žihání rekrystalizační. Jedná se zpravidla o mezioperační žihání při tváření nízkouhlíkové oceli za studena, které odstraňuje vzniklé zpevnění a regeneruje tvárné vlastnosti. Děje se tak ohřevem na teplotu do oblasti rekrystalizace 550 až 700 °C a vydrží 1 až 5 hodin. Tímto postupem lze i významně měnit tvar a velikost zrna, zpravidla se žihá za účelem zjemnění zrna.

Žihání na měkko.

Dochází při něm ke sferoidizaci eutektoidních karbidických částic v důsledku povrchového napětí. Změnou lamelárního perlitu na zrnitý lze u nízkouhlíkových ocelí zlepšit tvařitelnost za studena a u ocelí s obsahem nad 0,4 % C obrobitelnost. Rovněž lze žiháním připravit vhodnou výchozí strukturu pro následné kalení, zejména u eutektoidních a nadeutektoidních ocelí. Rovnoměrné rozložení zrnitých karbidů v základní feritické hmotě ulehčuje následující austenitizaci a zlepšuje celkové vlastnosti po zakalení, čehož se úspěšně využívá zejména u ložiskových ocelí. Teplota žihání je blízká eutektoidní teplotě, případně se pohybuje v jejím okolí.

Zvýšení teploty nad Ac₁ resp. její kolísání kolem této hodnoty usnadňuje a urychluje sbalování karbidických částic. Doba žihání je různá podle druhu oceli i předchozího

tepelného zpracování a pohybuje se od 4 h u uhlíkových ocelí po 16 h pro vysokolegované oceli. Žíhání je ukončeno pozvolným ochlazováním v peci.

Žíhání protivločkové.

Aplikuje se při nadkritickém obsahu vodíku v oceli, kdy dochází k náchylnosti tvorby vnitřních trhlin - vloček. Vločkám lze zabránit dlouhodobým ohřevem (až desítky hodin) při teplotách 650 až 750 °C, kdy v důsledku podstatného zvýšení difuzivity vodíku ve feritu se jeho obsah sníží pod kritickou hodnotu. Žíhání je nutné vykonat bezprostředně po odlévání nebo tváření za tepla (před ochlazením na teplotu okolí), kdy přítomný vodík ještě nevytváří molekuly, které už nejsou schopny difúze a tím

i vytěsnění z oceli. Po dlouhodobé výdrži na žíhací teplotě je vhodné ochlazovat alespoň do 500 °C velmi pomalu.

Žíhání pro odstranění křehkosti po moření. Při odstraňování okují mořením dochází u ocelových součástí k difúzi vodíku do kovu a následné vodíkové křehkosti. Protože při moření je pronikání vodíku do oceli omezené, dá se vodík jednoduše vytěsnit žíháním při teplotě 300 °C až 500 °C po dobu 1 až 4 h

Žíhání normalizační

Patří mezi nejužívanější postupy tepelného zpracování oceli, protože zajišťuje jemnozrnnou a rovnoměrnou strukturu po odlévání, tváření či dlouhodobém žíhání za vysoké teploty. Klasický postup se užívá výhradně u podeutektoidních ocelí, kdy při teplotě 30 až 50 °C nad AC3 a výdrži 1 až 4 h, vzniká jemná rovnoměrná austenitická struktura, která po ochlazení na vzduchu transformuje na jemnozrnnou feriticko-perlitickou strukturu s příznivými mechanickými vlastnostmi. Výjimečně se aplikuje u nadeutektoidních ocelí k získání lepší redistribuce částic sekundárního cementitu, který se v důsledku pomalého ochlazování z dokovacích teplot vyloučil ve formě síťovin na hranicích zrn. Ohřevem nad A_{cm} se karbidické síťoviny rozpustí v austenitu a rychlejším ochlazováním se zabrání jeho opětovnému vyloučení na hranicích zrn.

Žíhání homogenizační.

Snižuje nehomogenitu chemického složení tlustostěnných odlitků, ve kterých došlo k výrazné dendritické segregaci. Dlouhodobým žíháním v rozsahu teplot 1 100 až 1 200 °C (obvykle asi 200 °C pod solidem) dochází dostatečnou difúzní rychlostí uhlíku i dalších prvků ke snížení odmišení a nežádoucí heterogenity. Výdrž na teplotě se řídí velikostí a tloušťkou odlitku a většinou vede k výraznému zhrubnutí zrna, což vyžaduje následné normalizační žíhání.

Žíhání rozpouštěcí.

Tímto žiháním se rozpouštějí karbidy, nitridy i další intermetalické fáze, což zvyšuje homogenitu austenitu a jeho nasycení legujícími prvky. Nejčastěji se využívá u vysokolegovaných austenitických ocelí, kde žiháním při teplotách 1 050 až 1 150 °C s následným rychlým ochlazením, které zabrání opětovnému vyloučení fází, se získá čistě austenitická struktura.

Žihání izotermické.

Spojením tří druhů žihání - normalizačního, na měkko, na snížení vnitřních napětí, do jedné operace lze získat homogennější jemnozrnnou strukturu se zlepšenou obrobitelností. Postup začíná normalizačním žiháním, po kterém se ocel ochladí proudem vzduchu na teplotu 700 až 650 °C, při které v izotermické prodlevě probíhá rozpad metastabilního austenitu na jemný sferoidizovaný perlit. Výdrž na teplotě vyplývá ze znalosti diagramu IRA pro příslušnou ocel. Nakonec následuje ochlazení vzduchem. Proces je zvláště vhodný pro některé střednělegované oceli, které se obtížně žihají na měkko.

1.3. Kalení

Cílem kalení je zvýšení tvrdosti, pevnosti a odolnosti proti opotřebení oceli. Tyto vlastnosti nabízejí částečně nebo úplně nerovnovážné struktury, které lze získat ochlazením austenitu nadkritickou rychlostí. Podle fáze, která převládá ve výsledné struktuře, rozlišujeme kalení martenzitické nebo kalení bainitické.

Důležitým parametrem procesu je kalící teplota, při které je ocel před ochlazením austenitizována. Správná kalící teplota je u podeutektoidních ocelí asi 30 až 50 °C nad AC₃, kde zajišťuje homogenní strukturu austenitu před rozpadem. U nadeutektoidních ocelí stačí ohřev jen asi 20 °C nad AC₁, kdy výchozí strukturu tvoří heterogenní směs austenitu a nerozpuštěných karbidů, které po zakalení přispívají ke zvýšení odolnosti proti opotřebení. Nedodržení správné kalící teploty vede ke zvýšení nežádoucích fází v konečné struktuře (ferit) nebo ke zhrubnutí zrna, což může vést až ke vzniku kalických trhlin.

Kalitelnost je schopnost oceli dosahovat ochlazením austenitizační teploty nerovnovážného stavu.

Zakalitelnost je dána maximální tvrdostí po kalení a závisí na obsahu uhlíku rozpuštěného v austenitu. Výsledná tvrdost je ovlivněna i vyšší kalící teploty zvláště u nadeutektoidních ocelí.

Dělení kalení

- **Kalení základní** (obyčejné) je nejjednodušší, teplota klesá plynule pod *MS*, kdy začne transformace austenitu na martenzit. Vznikají velká zbytková napětí, maximální deformace a proto není vhodné pro kalení tvarově složitých výrobků.
- **Kalení lomené** začíná ochlazováním nadkritickou rychlostí k potlačení perlitické přeměny (např. ve vodě) a pokračuje ochlazením v mírnějším prostředí (např. olej). Tím se zmenšuje rozdíl teplot na povrchu a ve středu výrobku a snižuje se tepelná napětí.
- **Kalení izotermické** je podobné termálnímu kalení s tím, že prodleva trvá v oblasti bainitické přeměny až do ukončení izotermického rozpadu austenitu. Tepelná i strukturální napětí jsou minimální, není nebezpečí deformace a vzniku trhlin. Nejstarším způsobem izotermického kalení je patentování, používané při výrobě drátů s vysokou pevností.
- **Kalení termální** dovoluje vyrovnat teploty v celém objemu kaleného předmětu, snížit tepelná napětí a zmenšit deformaci díky prodlevě nad teplotou *MS*. Ochlazení v intervalu martensitické přeměny probíhá zpravidla na vzduchu. Postup je vhodný pro tenkostěnné výrobky složitých tvarů ocelí, které mají bainitickou oblast dostatečně posunutou vpravo.
- **Kalení zrn zmrázováním** vyžaduje dochlazení ve zmrazovacích lázních (ochlazovaných tekutým dusíkem), které má zabránit stabilizaci ZA (zbytkový austenit) u ocelí s nízkými teplotami *MS* a *Mf*. Aplikuje se na výrobky pracující při záporných teplotách, u měřících nástrojů a u ocelí na ložiska, kde se vyžaduje tvarová stabilita.
- **Kalení nepřetržité bainitické** se provádí u ocelí s bainitickou oblastí významně posunutou doleva. Výslednou strukturu tvoří směs bainitu, martenzitu a zbytkového austenitu.

1.4. Popouštění

Popouštění je způsob tepelného zpracování ocelí, který zpravidla následuje bezprostředně po kalení. Ohřevem zakalené oceli na teploty nepřevyšující *AC1* dochází k rozpadu martenzitu a k přeměně zbytkového austenitu. Změny struktury a z nich vyplývající změny mechanických vlastností závisí především na výši propouštěcí teploty. Z technologického hlediska existuje:

- popouštění při nízkých teplotách (do 300 až 350 °C), které snižuje zbytková napětí po kalení, zmenšuje obsah ZA a stabilizuje rozměry,

- popouštění při vyšších teplotách (nad 450 °C), při kterém dochází k úplnému rozpadu martenzitu, což se projevuje znatelným poklesem tvrdosti a pevnosti, ale také růstem plasticity a houževnatosti.

2. Technologie stříhání plechů

2.1. Technologie plošného tváření - stříhání

Stříhání je nejrozšířenější operací tváření.

Používá se jednak na:

- přípravu polotovarů (stříhání tabulí nebo sviteků plechů, stříhání profilů, vývalků, apod.)
- vystřihování součástek z plechu buď pro konečné použití nebo pro výrobky na další technologie (ohýbání, protlačování, tažení, atd.)
- dokončovací a nebo pomocné operace.

Patří sem:

- děrování,
- vystřihování,
- ostřihování,
- přistřihování, atd.

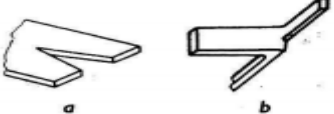
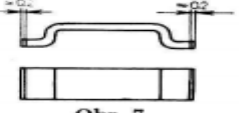
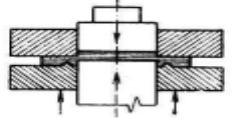
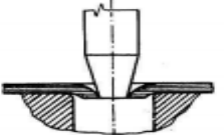
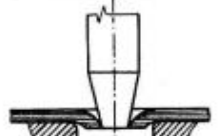
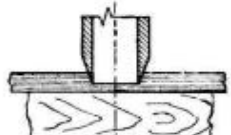
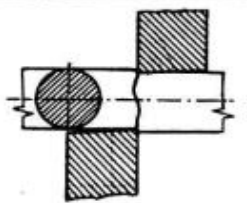
Stříhání se může podle teploty procesu dělit:

- na stříhání **za studena** - jen pro měkčí oceli (do pevnosti 400 MPa) a nebo pro plechy,
- na stříhání **za tepla** - pro tvrdší a tlustší materiály při ohřevu asi na teplotu 700 oC

Operace	Schéma	Definice
děrování	<p>Obr. 1.</p>	Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřížená část tvoří odpad.
ostřihování	<p>Obr. 2.</p>	Oddělování přebytečného materiálu po obvodu součástí.

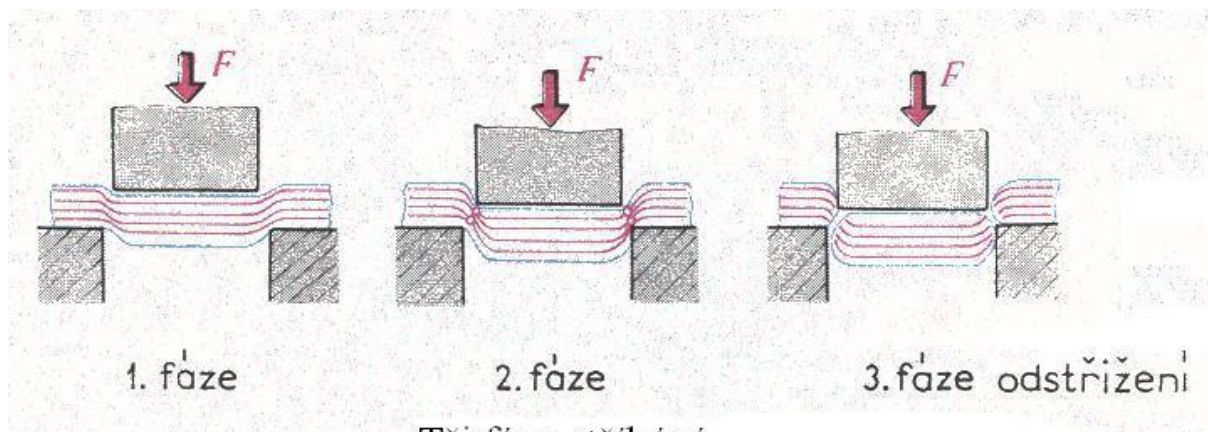
plošné

Stříhání plošné	<p>Obr. 2.</p>	
	<p>Obr. 3.</p>	Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.
	<p>Obr. 4.</p>	Zhotovení výstřížku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřížená část tvoří výrobek.
	<p>Obr. 5.</p>	Oddělování části v okraji i uvnitř materiálu. Vystřížená část tvoří odpad.

Operace	Schéma	Definice
Stříhání plošné	<p>nastříhování</p>  <p>Obr. 6.</p>	Částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen.
	<p>přistříhování</p>  <p>Obr. 7.</p>	Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.
	<p>přesné vystříhování</p>  <p>Obr. 8.</p>	Vystříhování upravené pro dosažení hladkých a přesných střížných ploch bez dalšího opracování.
	<p>protrhávání</p>  <p>Obr. 9.</p>	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
Stříhání objemové	<p>protrhávání</p>  <p>Obr. 9.</p>	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
	<p>vysekávání</p>  <p>Obr. 10.</p>	Oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.
	<p>stříhání profilů, tyčí, trubek apod.</p>  <p>Obr. 11.</p>	Dělení profilů, tyčí a trubek podle neuzavřeného obrysu noží, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného průřezu.

2.2. Princip stříhání

Stříháním je oddělování části materiálu působením protilehlých řezných hran způsobujících v řezné rovině smykové napětí. Princip stříhání je ukázán na obrázku. Stříhání probíhá ve třech fázích.



Tři fáze stříhání

V **první fázi** je oblast pružných deformací, kdy se materiál stlačuje a ohýbá a vtlačuje se do otvoru střížnice.

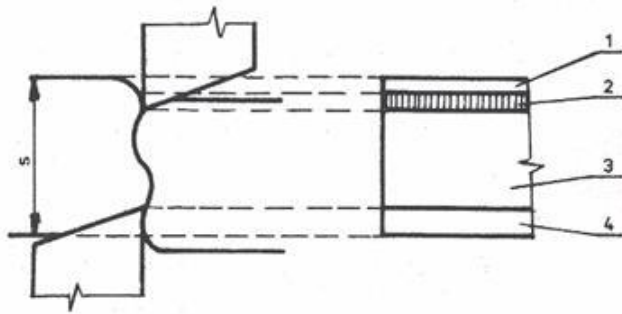
Druhou fází je oblast plastických deformací. Střížník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střížnice a napětí překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti.

Ve třetí fázi začínají na hranách vznikat trhlinky, ty se rozšiřují, až dojde k utržení (usmýknutí) materiálu.

Výstřížek se oddělí dříve, než projde střížník celou tloušťkou stříhaného materiálu a následně je výstřížek vytlačen. S ohledem na to nejsou okraje stříhových ploch zcela rovinné a střížná plocha má určitou drsnost, která není v ploše rovnoměrně rozdělená.

Místa, kde došlo k prvnímu výskytu trhlin, jsou drsnější, než ostatní střížné plochy. Oddělení však nenastane přesně v žádané rovině a to proto, že materiál je elastický, tvárný a napětí způsobuje tlak nožů na celé ploše – podle toho rozeznáváme na odstříhnuté ploše různá pásma.

Stříhání je tedy jedinou tvářecí operací, která směřuje k žádoucímu porušení materiálu. Při výpočtu tvářecích sil se to projeví tím, že zde použijeme meze pevnosti místo meze kluzu.



Deformační pásma při stříhání

1 - pásmo zaoblení (elastická deformace), 2 - pásmo utržení, 3 - pásmo smyku (plastické deformace), 4 - pásmo odtlačení

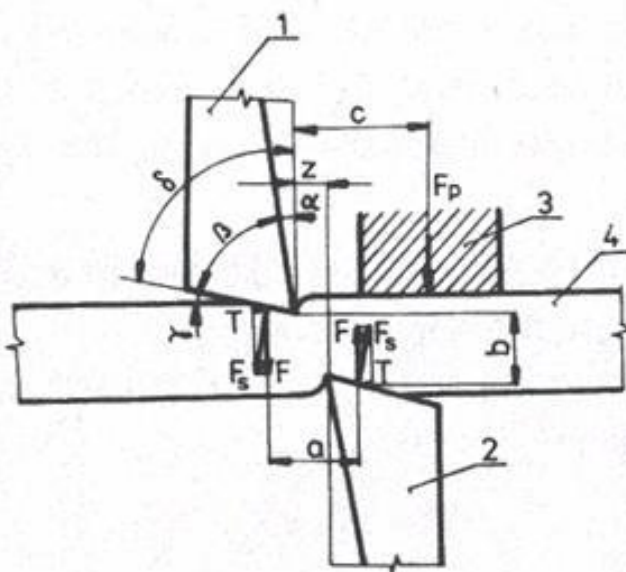
2.3. Výpočet síly a práce pro rovnoběžné nože

V důsledku mezery mezi střížníkem a střížnicí střížné síly nepůsobí při skutečném procesu ideálně v jedné rovině, kdy střížná síla F_s se rozkládá na složku třecí (T) a normálovou (F), což způsobuje jednak vznik ohybových momentů a jednak vznik jednotlivých pásem na konečném výrobku nebo polotovaru.

Moment $M_p = F \cdot a$ se snaží materiál natočit, čemuž je možné zabránit použitím přidržovače, klopný moment $M_T = T \cdot b$ je možno zmenšit zvětšením úhlu čela γ .

Sílu přidržovače určíme ze vztahu $F \cdot a = F_p \cdot c$, kde a je 1,5 až 2 násobek střížné mezery (a je označena jako z).

Složka síly T se snaží od sebe nože oddálit a nastává jejich ohyb (nebezpečí zlomení).



Princip a silové působení u stříhu s rovnoběžnými noži

1 – horní pohyblivý nůž, 2 – dolní pevný nůž, 3 – přídržovač, 4 – stříhaný materiál

Velikost střížné síly při stříhu s rovnoběžnými noži se vypočítá ze vztahu:

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_s$$

kde

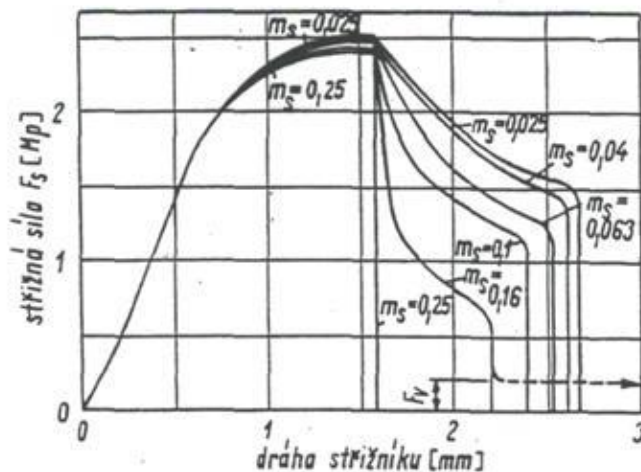
s ... tloušťka plechu [mm],

O ... střížný obvod [mm],

τ_s ... napětí ve smyku, stříhová pevnost - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa],

S ... plocha průřezu ve střížné rovině

- $S = O \cdot s$ [mm²].



Průběh síly při stříhání rovnoběžnými noži s ukázkou vlivu střížné mezery na průběh střížné síly F a velikost práce A

Protože napětí ve smyku, stříhová pevnost, je hodnota závislá od poměrného vtlačení nože do materiálu, vzorec nebude platit v plném rozsahu střížného procesu, ale střížná síla se bude měnit od nuly po určité maximum a zpět na nulu, což závisí samozřejmě na tloušťce materiálu, méně na střížné mezeře.

Při skutečném stříhání nevzniká čistý smyk, ale kombinované namáhání, nože se otupují, proto se skutečná střížná síla zvýší o 10 až 30 %. Střížná práce se bude rovnat ploše pod křivkou a je závislá na střížné mezeře.

$$A = F_s \cdot k \cdot z$$

kde

k ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou
 z ... zdvih [mm].

2.4. Výpočet síly a práce pro šikmé nože

Pro výpočet střížné síly a práce potom platí analogický vzorec, vztažený na plochu trojúhelníka ve tvaru

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot s \cdot b \cdot \tau_s = (1,1, 1,3) \cdot s^2 \cdot \tau_s / \operatorname{tg} \varphi$$

kde

s ... tloušťka plechu [mm],

b ... délka stříhu – $b = a / \operatorname{tg} j$ [mm],

φ ... úhel stříhu, uhel sklonu nožů (2 až 6° pro tabulové nůžky, 7 až 20° pro pákové nůžky)

τ_s ... napětí ve smyku – $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa].

$$A = F_s \cdot k \cdot z = F_s \cdot k \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

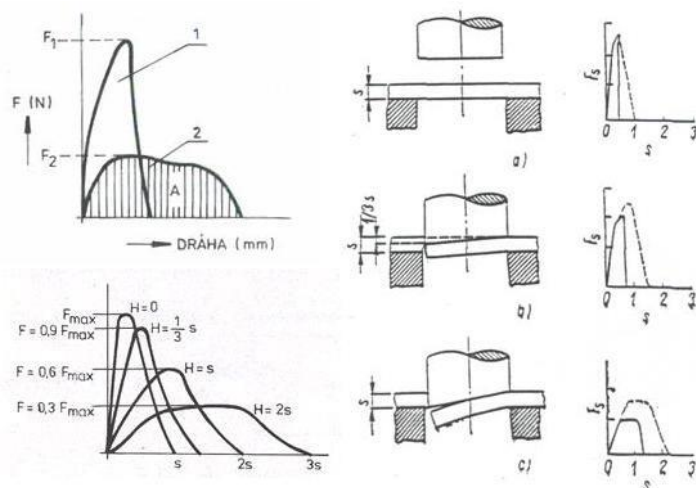
kde

k ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou

z ... zdvih [m].

Vypočítaná síla zůstává konstantní, když nastane záběr nože v celé tloušťce. Velikost střížné síly začne klesat, když nože odchází ze záběru a nakonec klesne na nulu. Potřebná velikost práce se vypočítá ze vztahu a je opět rovna ploše pod křivkou.

Při porovnání střížné síly a velikosti práce při stříhání rovnými a šikmými noži je jasně patrné, že stříhání se šikmými noži je výhodnější, neboť pro stejnou tloušťku plechu a délku stříhu je potřeba mnohem menší síla, než u rovných nožů, ale na druhé straně budeme stříhat po delší dráze. Zmenšení střížné síly podstatně zmenšuje rázy.



Porovnání průběhu sřížné síly a velikosti práce při stříhání rovnými a šikmými noži (vlevo nahoře) a vliv úhlu zešikmění na průběh síly a velikosti práce (vlevo dole) s vyjádřením průběhů pro zkosení 0, $1/3 H$ a $H = s$ (vpravo – plná čára je pro normální stříh, šrafovaná čára pro přesné stříhání).

2.5. Rozdělení stříhání

Podle konstrukce nožů (střížníků) se stříhání dělí na:

- stříhání rovnoběžnými noži,
- skloněnými noži,
- kotoučovými noži,
- noži na profily a tyče.

Stříhání rovnoběžnými noži

Ke stříhání rovnoběžnými noži se používá střížný nástroj, který se skládá ze střížníku a střížnice mezi kterými je střížná vůle, resp. střížná mezera m_s ($1/2$ střížné vůle). Nelze totiž bez zvláštních úprav postavit nástroj bez mezery kvůli nebezpečí havárie. Na docílení kvalitního výstřížku je důležitá optimální vůle mezi střížníkem a střížnicí. Jednostranná vůle bývá od 3 do 10 % tloušťky plechu v závislosti na tloušťce a pevnosti materiálu (s rostoucí pevností se vůle zvětšuje).

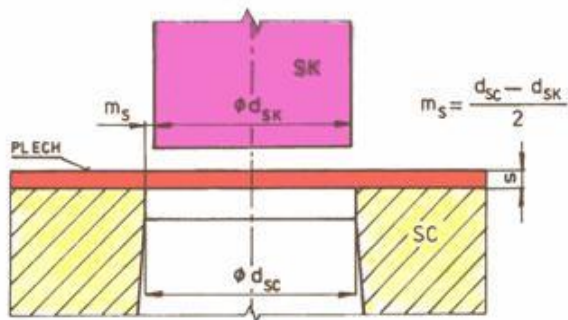
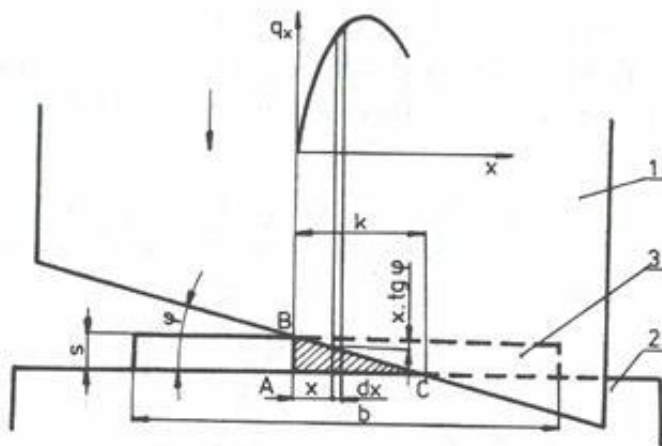


Schéma stříhání pomocí střížného nástroje (SK – střížník, SC – střížnice)

Stříhání šikmými noži

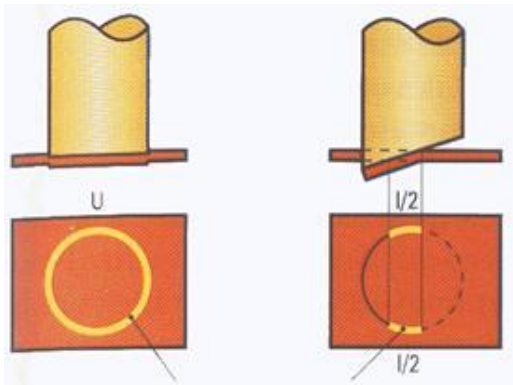
Stříhání šikmými, skloněnými, noži, které při stříhání svírají určitý úhel je výhodné proto, že se při tomto způsobu zmenší celková potřebná střížná síla oproti stříhání na rovných nožích.

Materiál se stříhá postupně. Pro velikost střížné síly bude rozhodující velikost střížné hrany a tloušťky - plochy trojúhelníka.

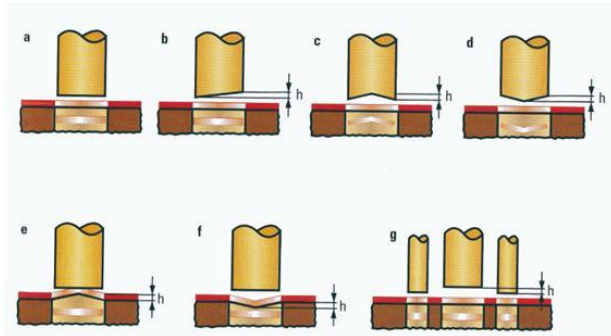


*Stříhání skloněnými, šikmými, noži
(1 – horní pohyblivý nůž, 2 – dolní pevný nůž, 3 – stříhaný materiál)*

Podobně jako u jednoduchého rovného stříhání je i v tomto případě průběh okamžité síly možno regulovat, i když naproti tomu se celková práce, vynaložená na stříhání, nezmenší. U nástrojů, stříhadel, složených ze střížníku a střížnice, používaných pro dva nejrozšířenější způsoby stříhání, tj. děrování a vystřihování, to lze provést dvěma způsoby:



Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými, resp. šikmými noži

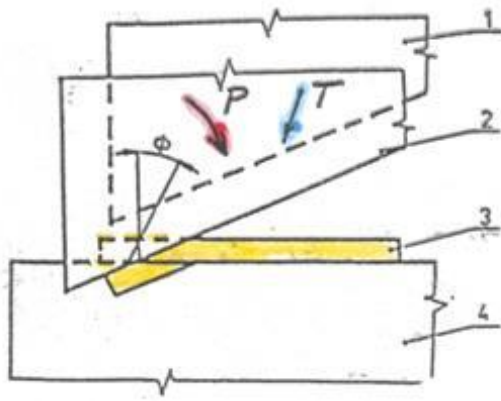


Úpravy střížníku a střížnice (a – rovný stříh, b – jednostranné zkosení střížníku, c, d – oboustranné zkosení střížníku, e, f – zkosení střížnice, f – stupňovité uspořádání střížníků)

Stříhadla se zkoseným ostřím používáme tehdy, když chceme zmenšit střížnou sílu, která je větší jak síla lisu. Na vystřihování se zkosení dělá oboustranné a to na střížnici, výrobek je rovný, odpad ohnutý. Způsob oboustranného zešikmení vyrovnává síly na střížníku a nevychyluje jej z osy. Jednostranné zkosení střížníku se používá jen pro nastřihování. U děrování je střížnice rovná a střížník zkosení, výrobek je rovný, odpad ohnutý. Při stříhání složitých tvarů se nedoporučuje provádět zkosení ostří.

Do šikmého stříhu počítáme i pákové nůžky, jejichž nože se pohybují úhlových sklápěním. Protože sklápěním přímkových nožů se úhel λ mění, staví se často pákové nůžky s jedním nebo oběma noži obloukovými, takže úhel λ zůstává po střížné čáře konstantní.

Zvláštním způsobem stříhání se skloněnými noži je taháný stříh, kdy úhel stříhu (tažení) φ je roven 2 až 10° a tento způsob je používán pro stříhání vláknitých látek, kde se sníží střížná síla až o 20 % při úhlu $\varphi = 70^\circ$.



Stříhání materiálu tahným stříhem

(1 - východisková poloha pohyblivého nože, 2 - poloha pohyblivého nože při stříhu, 3 - dolní pevný nůž, 4 - stříhaný materiál)

Stříhání kruhovými noži

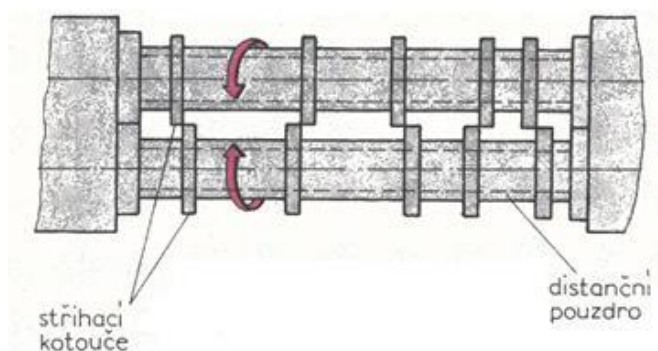
Pro podélné stříhání dlouhých pásů se staví nůžky kotoučové, kruhové. Je to střížný nástroj s odvalujícími se noži.

Použití kruhových nožů prodlužuje čas stříhu, ale snižuje rázy při stříhání. Sklon řezné hrany se mění od nejvyšší hodnoty v místě záběru do nuly.

Kombinace dvojkuželového a válcového nože je určena pro stříh zakřivených tvarů, s výhodou skloněných os nástrojů.

Na křivkové stříhání je potřeba zvolit průměr nožů co nejmenší. To umožňuje konstrukci nůžek s dlouhými rameny nesoucími kotouče, a tím i snadnou manipulaci se stříhaným materiálem.

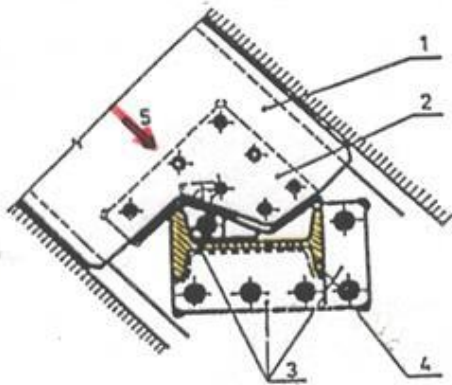
Speciálním nástrojem jsou kmitací nůžky. Slouží k ostřihování výlisků a k vystřihování drážek a děr. Maximální tloušťka materiálu je kolem 10 mm.



Kotoučové nůžky při stříhání pásů

Stříhání noži na profily a tyče, trubky

Často se stříhá také profilový materiál, čtvercový, kruhový, profily, atd. Zatímco příčný průřez funkčních částí nástrojů zůstává ve všech případech zhruba beze změny, mění se podélný tvar podle účelu stříhu.

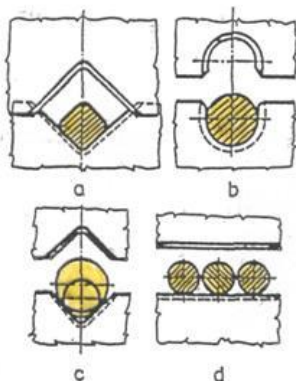


Nože na stříhání profilu

(1 - střížník, 2 - pohyblivý nůž, 3 - pevný nůž, 4 - stříhaný profil, 5 - směr pohybu nože)

Při stříhání jakéhokoliv profilového materiálu platí zásada, aby přestříhovaná tloušťka v každém okamžiku byla téměř stále stejná. Této zásadě se potom přizpůsobuje obrys pohyblivého nože. Na obrázku je ukázán tvar nože pro stříhání profilů a tvar nožů určený jednak pro stříhání čtvercových profilů, jednak tvar nožů pro stříhání kulatiny. Při šikmém posuvu pohyblivé části nástroje se docílí rovnoměrnějšího průběhu střížné síly v závislosti na zdvihu, než kdyby se volil pohyb nože podle některé z os průřezu.

Při stříhání trubek, při jejich pokud možno minimálním zdeformování, má pohyblivá část nástroje tvar oblouků zakončených špičkou. Zašpičatělá část nejprve trubku propíchne, boky potom trubku stříhají tak, že výslednice sil na břitu směřuje kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Střížná mezera není rovněž po celé délce stejná, od krajů směrem ke středu roste.



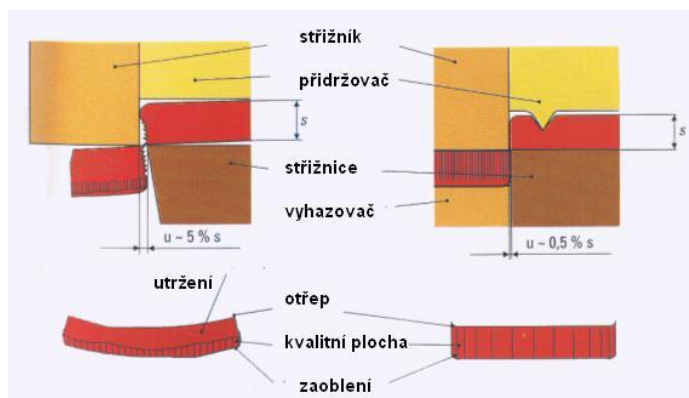
Nože na čtvercový a kruhový materiál

(a - čtvercový průřez, b - kruhový průřez, c - kruhový průřez s rozdílným průměrem, d - kruhový průřez s povolenou deformací profilu)

3. Přesné stříhání a speciální způsoby stříhání

3.1. Přesné stříhání

Při popsanych metodách stříhu má střížná plocha i vystřižený kus určitou standardní jakost. Jedná se o drsnost povrchu střížné plochy a přesnost střížných rozměrů. Kvalita stříhu pro normální a přesné stříhání.



Kvalita stříhu pro normální a přesné stříhání

Aby bylo možno stříhané díly používat přímo na montáž bez z dalších úprav, snažili se technologové vylepšit střížný proces. Všechny metody, zlepšující jakost povrchu střížné plochy a zpřesňující stříhané rozměry se uvádějí pod společným označením - přesné stříhání.

Pro kvalitu výstřížku je velmi důležitá vůle (mezera) mezi střížníkem a střížnicí, neboť se zmenšující se mezerou se eliminují tahové složky napětí od ohybového namáhání a napjatost se blíží čistému smyku.

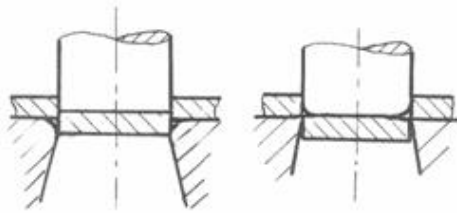
V zásadě metody přesného stříhání lze rozdělit na výrobu výstřížků:

- v jedné operaci, a to na stříhání bez vůle, stříhání s přidržovačem, stříhání s nátlakovou hranou, stříhání s nátlakovou hranou a protitlakem, reversní stříhání, stříhání se zápornou vůlí, stříhání na lisech ESSA,
- ve dvou operacích, a to na přistříhování, vibrující střížník.

Stříhání bez vůle

Stříhání bez vůle je ukázáno na obrázku. Jedna funkční část nástroje, buď střížník nebo střížnice je vypracována bez břitu, se zaoblením střížné strany. Druhá část je

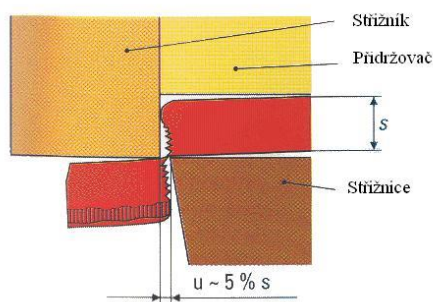
nabroušena. Uspořádání vlevo je určeno pro kvalitní povrch díry, vpravo pro kvalitní povrch výstřížku.



Stříhání bez vůle

Stříhání s přidržovačem

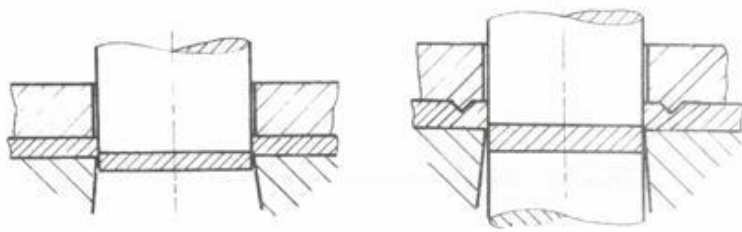
Proti ohýbání okrajů výstřížků i pro zlepšení povrchu střížných ploch působí použití přidržovače při stříhání. K tahové složce napjatosti přibývá složka tlaková, která zlepšuje stav napjatosti v místě stříhu.



Použití přidržovače

Stříhání s nátláčnou hranou

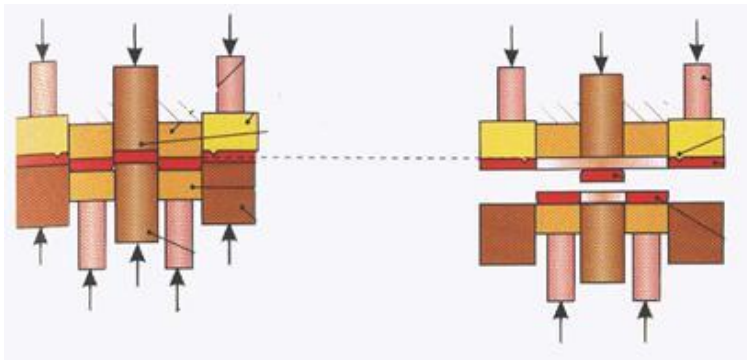
Zatím nejlepší výsledky v oboru přesného stříhání přináší tzv. stříhání s nátláčnou hranou, resp. stříhání s nátláčnou hranou. Nátláčná hrana se prolisuje v oblasti střížného obvodu, kde změni napjatost ve střížné ploše na trojosou, nátláčná hrana způsobí navíc složku tlakovou, která usnadňuje přiblížení k čistému smyku. Protitlak je zajištěn odpruženým spodním lisovníkem. Toto uspořádání umožňuje stříhání načisto i u poměrně tlustých materiálů. Pro tlustší materiály (tloušťka větší, jak 5 mm) se můžou použít dvě obvodové hrany, nebo jedna na střížníku a jedna na střížnici.



Stříhání s přidržovačem (vlevo) a stříhání s nátláčnou hranou a protitlakem (vpravo)

Reversní stříhání

Reversní stříhání je založeno na sevření polotovaru tak, že se neprojevují tahové složky napjatosti.



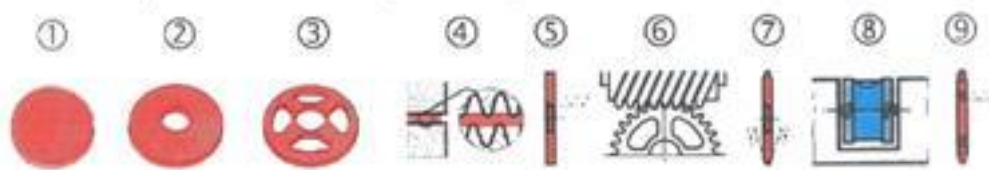
Reversní stříhání

Stříhání se zápornou vůlí a na lisech ESSA

Stříhání se zápornou vůlí je proces, kdy střížník nepronikne do otvoru ve střížnici. Průměr střížníku je zhruba o 0,1 až 0,2 % tloušťky plechu větší, než je průměr střížnice. Střížník musí zůstat nad rovinou střížnice ve vzdálenosti 0,2 až 0,5 mm a tím vyvolává v materiálu (mezikruží) tlakové napětí, kdy však střížná síla je větší.

Stříhání na lisech ESSA je proces, kdy střížník nejenom stříhá, ale i kmitá a tím střížnou plochu vyleští.

Konvenční výroba řetězového kola pro motocykl



Výroba řetězového kola pro motocykl přesným stříháním



1. vystřihování
2. děrování
3. děrování odlehčujících otvorů
4. vyrovnávání povrchu
5. soustružení vnitřní díry a oboustranné zkosení hran
6. frézování zubů (odvalování)
7. úprava zubů
8. vrtání otvorů
9. úprava otvorů, odstranění otřepů

3.2. Nástřihové plány

Při stříhání je velmi důležité výstřižky rozmístit na pásu plechu tak, aby odpad byl co nejmenší. Rozmístění výstřižků na pásu plechu je potom označováno jako nástřihový plán. Odpad (ať už technologický nebo konstrukční) je nedílnou součástí technologie stříhání, která patří mezi hromadné výrobní procesy, proto se musí rozmístění výrobků věnovat velká pozornost. Vždyť materiál tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů. Volba nástřihového plánu závisí na tvaru a konstrukci výrobku, na dodržování zásad konstrukce, na minimálních vzdálenostech mezi výrobky a od okraje pásu.

Nástřihový plán může být buď kusový, kdy se určuje nejvýhodnější způsob stříhání nebo skupinový, kdy se budou stříhat různé tvary a součásti jednoho výrobku.

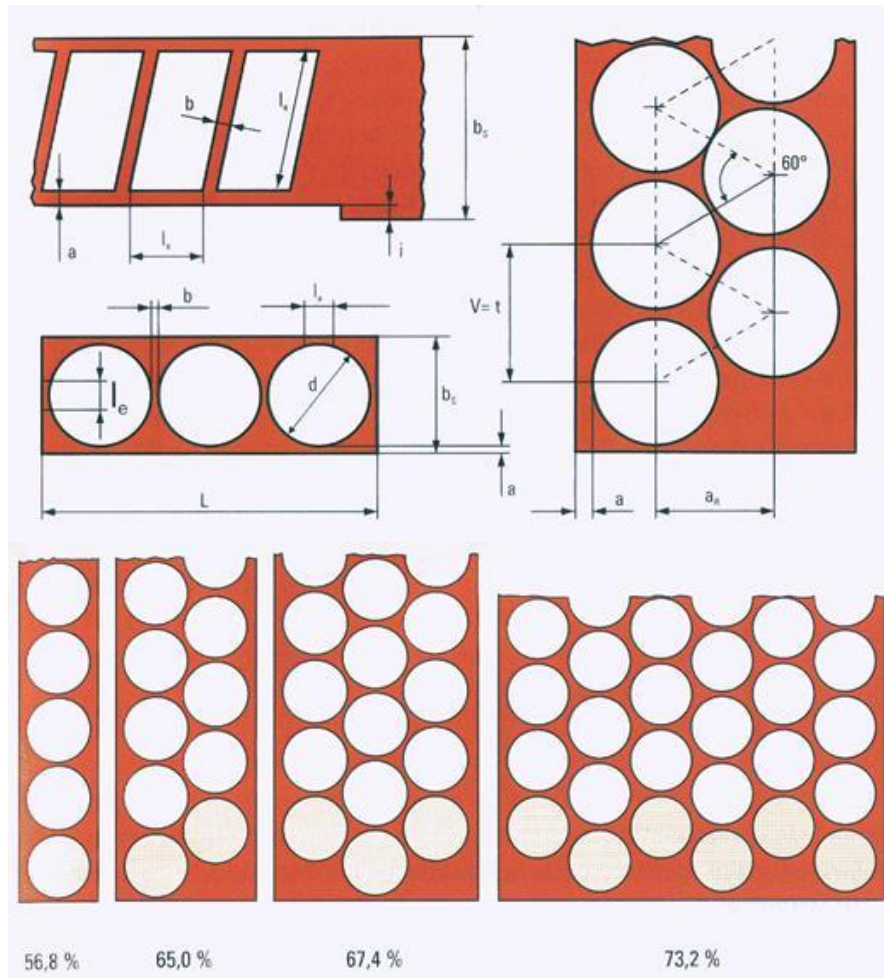
Hospodárnost nástřihu charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze zapsat ve tvaru:

$$\eta = S_o / S_p$$

kde

S_o ... celková plocha výstřížků [mm²],

S_p ... plocha pásu plechu [mm²].



3.3. Nástroje pro stříhání

Nástroje pro stříhání, stříhadla, jsou nástroje, kdy funkci horního pohyblivého nože vykonává **střížník** a funkci spodního pevného nože **střížnice**.

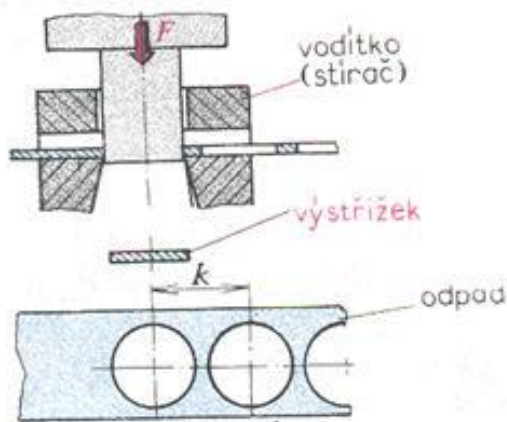
Můžeme je rozdělit:

- podle počtu operací na

- jednoduché,
 - postupové,
 - sloučené,
 - sdružené,
 - sdružené postupové,
- podle základní práce na
 - stříhací,
 - ohýbací,
 - tahací, atd.
 - podle počtu výrobků
 - jednonásobné
 - vícenásobné.

Jednoduché střížné nástroje

Prvním nástrojem je jednoduché střížný nástroj, který je určen pro jednu operaci. Poloha pásu je zajištěna pevným dorazem, posuv je o hodnotu kroku (velikost výrobku plus přídavek)



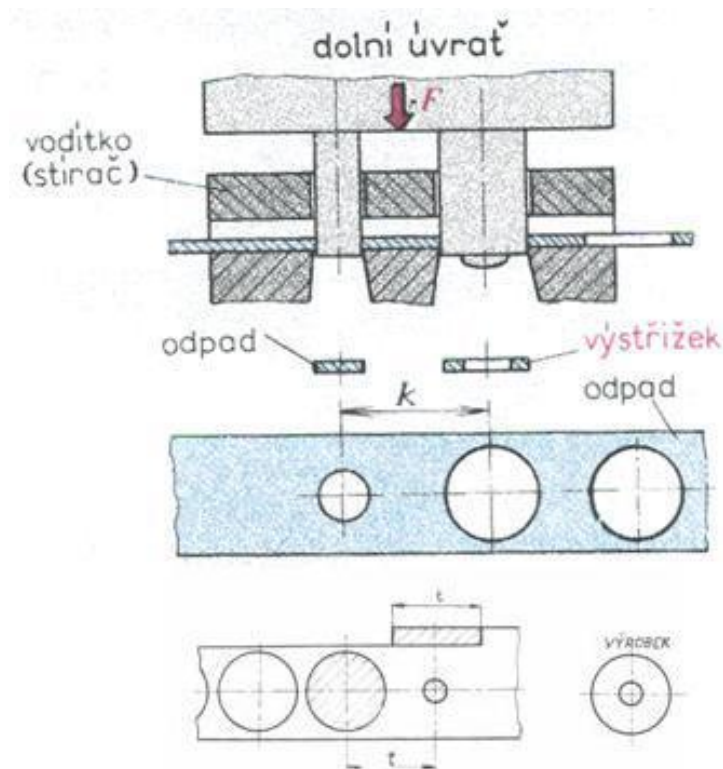
Jednoduchý střížný nástroj

Postupové střížné nástroje

Postupový střížný nástroj zhotovuje výstřížek postupně, na několik operací na několik kroků. Používá se načínací doraz při vložení nového pásu, dále je poloha pásu zajištěna pevným koncovým dorazem.

Funkci nástroje lze pochopit z obrázku. Jsou na něm šrafované 3 plochy, které se vystřihnou na 1 zdvih. Obdélníková plocha je odstřižena stranovým střížníkem a zajišťuje

míru tzv. kroku, tj. posuvu pasu o rozteč t . Kruhové plochy různých průměrů patří různým výstřižkům. Posuv pasu je zprava doleva. Pravý (malý) kruhový výstřižek padá do odpadu, z levé části nástroje propadají hotové výrobky – podložky

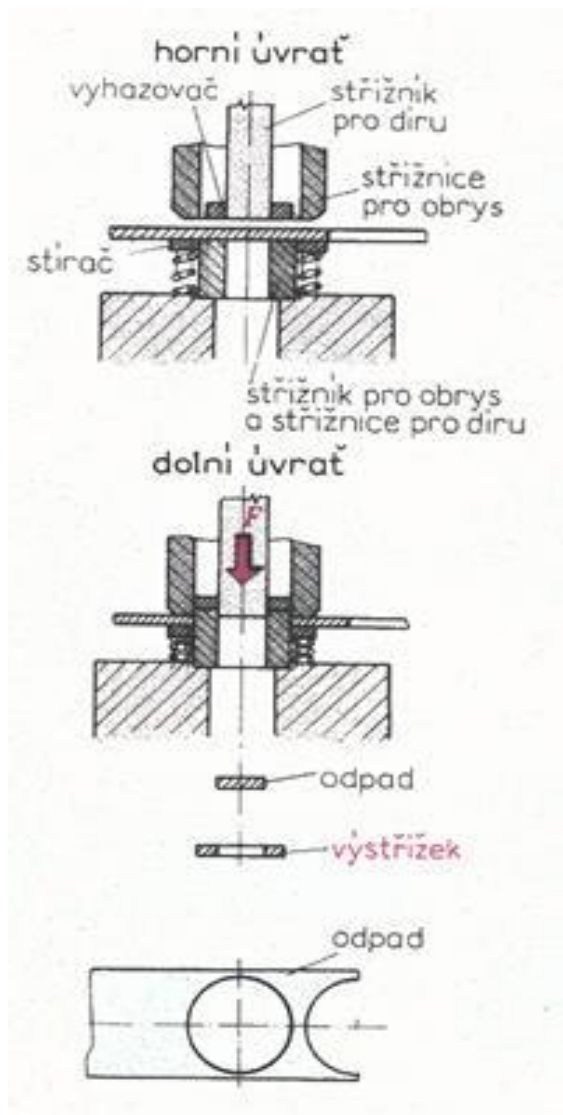


Postupové stříhadlo

Sloučené a sdružené střížné nástroje

Sloučený střížný nástroj se konstruuje pro několik operací na jeden krok. Tak např. při stříhání dochází jak k děrování, tak i k vystřihování.

Oproti tomu sdružený střížný nástroj se konstruuje pro sdružení různých pracovních úkonů na jeden krok (např. stříhání, ohýbání, tažení, atd.), resp. na více kroků. Potom mluvíme o sdruženém postupovém nástroji. Jednotlivé operace jsou zajištěny konstrukcí střížníku, resp. konstrukcí nástroje.



Sloučené stříhadlo

3.4. Speciální způsoby stříhání

Stříhání pomocí pryže

Stříhání pomocí gumy se používá pro stříhání výstřížků z tenkého plechu. Nástrojem je zde ocelová deska o tloušťce 6 až 10 mm, jejíž obrys je shodný s obrysem konečného výrobku. Protinástrojem je pryž, která je buď uzavřená v rámu nebo je volně položená na součástku, polotovár.

Nástrojem na stříhání gumou lze dělat operace ostříhování, děrování otvorů, sloučené operace ostříhování a děrování. Pryžová deska má tloušťku asi 150 mm a je složena

z více kusů.

Ocelový rám je velmi namáhaný, stejně jako ocelová střížná deska, která musí být hladká, aby nezanechala stopy na výstřížku.

Výhody spočívají v jednoduchém a levném nástroji, možnost tříhat více součástí najednou, je zde možná kombinace s tažením. Nevýhody jsou velký odpad, omezení tloušťkou a malá životnost pryže.

Stříhání se zvýšenou rychlostí

Stříhání se zvýšenou rychlostí je založeno na zmenšení objemu s vyčerpanou plasticitou na minimum, dráhy trhlin od střížných hran jsou velmi blízké a výsledkem jsou kolmé a rovinné střížné plochy.

To vše je možné pouze při kritických rychlostech, pro uhlíkové oceli kolem 3 až 5 m. s⁻¹.

4. Technologie objemového tváření – protlačování

4.1. Protlačování

Protlačování je technologie, kterou můžeme provádět za tepla, za poloohřevu a za studena. Napjatost v přetvářeném elementu materiálu je trojosá, všestranné tlaková. Tvářený materiál se přemísťuje a jeho směr pohybu je určen konstrukcí nástroje – protlačovačla. Výrobek se nazývá protlaček .

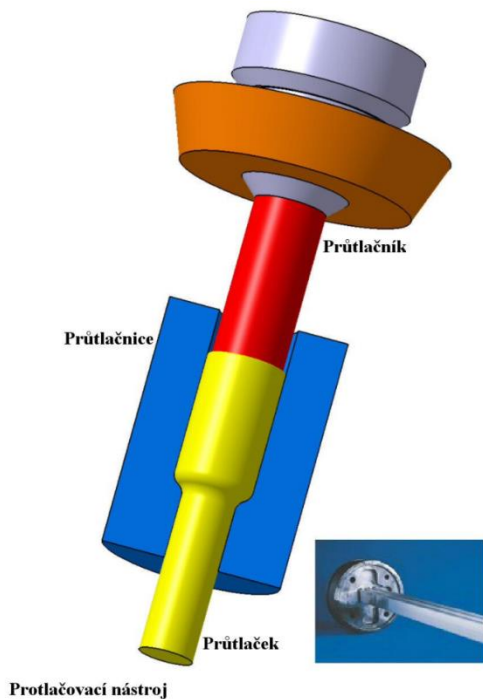
Tuto technologii je možno dělit do dvou skupin. První se týká výroby finálních výrobků, druhá výroby polotovarů (trubek, tyčí, profilů, apod.). Protlačování za studena je u lehkých a barevných kovů známo již přes 100 let. Tímto způsobem se vyráběly a vyrábějí např. tuby, nábojnice, apod.

Za tepla

- Tímto způsobem vyrábíme plné a duté profily se složitým průřezem, které nemůžeme vyrábět válcováním.

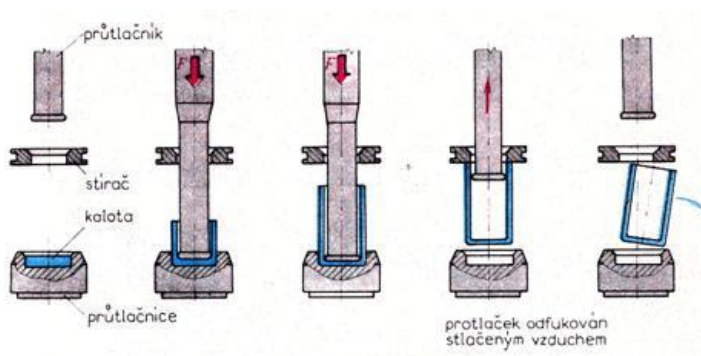
Za studena

- Tímto způsobem vyrábíme tělesa s tenkou stěnou-nábojnice, tuby, sprejové nádoby.



4.2. Princip protlačování a vliv materiálu

Principem protlačování je deformace materiálu v důsledku působících sil do předem stanoveného směru s konečnými výhodnými mechanickými a rozměrovými vlastnostmi konečného výrobku. Protlačování je jedním z procesů, které přispěly k výraznému snížení vlastních nákladů ve výrobě, tedy i k racionalizaci výroby. Přesnost průtlačků je obvykle velmi vysoká ($\pm 0,05$ mm), takže není nutno před montáží průtlačky rozměrově upravovat. Také využití materiálu je vysoké, 90 až 100 %



Jakost a výchozí stav materiálu má výrazný vliv na technologii a proces protlačování.

Vzhledem k velikosti přetvárných odporů jsou pro protlačování vhodné materiály s tažností větší, než 10 % a kontrakcí větší, než 50 % (oceli s obsahem uhlíku do 0,2 % C).

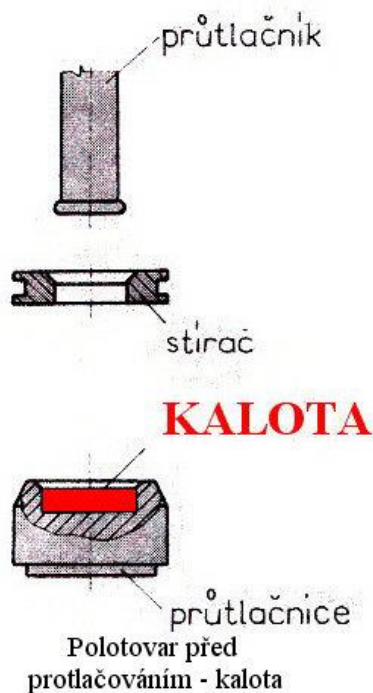
Nevhodné jsou materiály, u kterých je nutno vynaložit specifický tvářecí tlak větší jak 2500 MPa a nebo nelze během jedné operace v důsledku chemického složení (tedy zpevnění) získat deformaci alespoň 25 %.

Materiály s nízkou přetvárnou pevností, hliník a jeho slitiny, se dají protlačovat na jednu operaci.

Oceli a ostatní kovy se protlačují na více operací. Někdy je potřeba provádět i mezioperační žíhání (nejdříve rekrytalizační a potom na měkko).

Maximální redukce na jednu protlačovací operaci je omezena přípustným namáháním nástroje. Redukce u oceli např. s obsahem 0,1 % C je až 60 %.

Před vlastním protlačováním je nutná úprava materiálu rovnáním a dělením na kaloty včetně tepelného zpracování. Následuje povrchová úprava.



4.3. Výpočet síly a práce

Na protlačování za studena jsou potřebné velké deformační síly, které závisí na chemické složení materiálu, přípravě a tepelném zpracování, mazání, geometrii nástroje (čím větší, tím větší síla), velikosti redukce (čím větší, tím větší síla), tloušťka stěny (čím menší, tím větší síla), druh stroje. Potřebné *síly* a *práce* se vypočítají velmi obtížně a

nebudou zde uváděny. Přetvárný odpor při protlačování za studena vzrůstá se stupněm zpevnění materiálu a potom počítáme

$$\text{kostř} = (\text{ko1} + \text{ko2}) / 2,$$

i když se nejedná o přímku, ale o křivku. U protlačování za tepla je přetvárný odpor konstantní.

4.4. Vliv tření

- Jedním z rozhodujících faktorů na proces protlačování je tření, které výrazně ovlivňuje vlastní proces, kvalitu výrobku a ekonomii výroby, a to zejména u ocelí – musí se provádět vhodná povrchová úprava, jinak dochází k suchému tření a zadření nástroje. Povrchová úprava se skládá:
 - odstranění povrchových vad (otryskávání, broušení, moření u Al, ...),
 - z chemického a mechanického čištění (omývání, sušení, ...),
 - z fosfátování (fosfátovaný povrch má vysokou přilnavost k výchozímu materiálu, kterým je nejčastěji kotouč nebo kotouč s otvorem, tzv. **kalota**, což umožňuje mazání povrchu materiálu v důsledku pórovitosti fosfátované vrstvy při velkých tlacích, čehož bylo prvně použito v 30 letech dvacátého století),
 - z nanesení vrstvy maziva (např. ponořením do roztoku organického oleje a mýdla).
- Velikost třecích sil dále závisí na drsnosti povrchu **průtlačníku** a **průtlačnice** a na jejich opotřebení v kritických místech. Někdy se jako mazivo u hutnického protlačování za tepla používá sklo vhodného chemického složení, které se při protlačování roztaví (nutnost odstranit sklovitou kůru). U neželezných kovů se používá tzv. **košilka**, tj. mezera mezi průtlačníkem a průtlačnicí o velikosti 2 až 4 mm, kam zateče materiál, který působí jako mazivo.

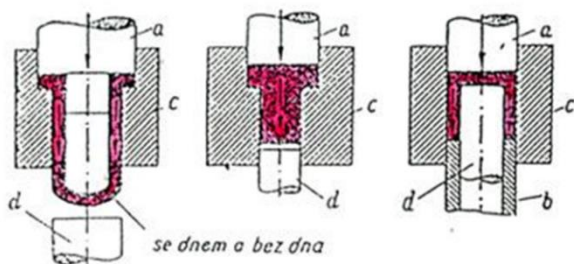
4.5. Rozdělení technologických způsobů protlačování

Protlačování dělíme podle směru pohybu materiálu a nástroje na

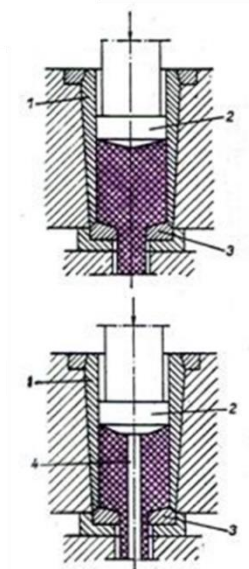
- *dopředné,*
- *zpětné,*
- *kombinované,*
- *stranové,*
- *radiální.*

Dopředné protlačování

Při **dopředném** (přímém) protlačování se materiál pohybuje ve stejném směru jako průtlačník. Výchozím polotovarem bývá kalota, získaná např. lisováním plechu nebo upichováním z tyčí. Používá se při tváření čepů, šroubů, pouzder, apod., tedy výrobků, u kterých není konstantní průřez

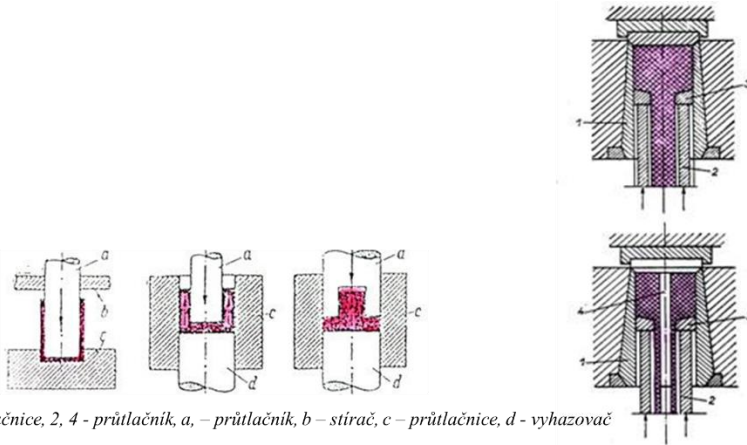


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 –
průtlačník, a, – průtlačník,
b – stírač, c – průtlačnice,
d - vyhazovač



Zpětné protlačování

Při **zpětném** protlačování se pohybuje materiál v opačném směru a používá se k výrobě dutých protlačků i se žebry, kdy tloušťka stěny je v porovnání s průměrem velmi malá anebo naopak.

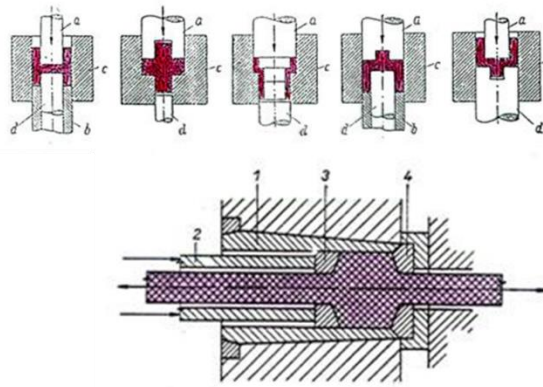


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

Kombinované (sdružené) protlačování

Vyrábí se tím profilové výrobky, které jsou velmi namáhané a které nemusí být válcového tvaru.

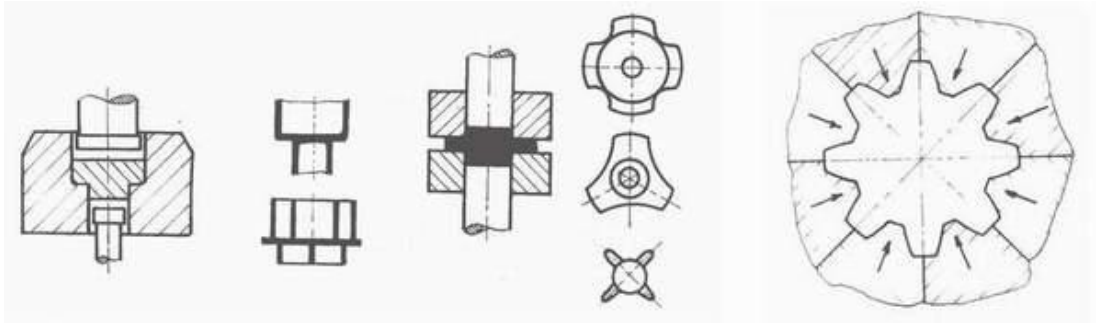
Při kombinovaném protlačování se materiál pohybuje v obou jmenovaných směrech, kdy musí platit, že stupeň deformace v dolní části průtlačku na dně průtlačnice musí být menší, než v horní části, kterou tváří průtlačník, jinak materiál do tvarovaného dna nezateče.



1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

Stranové a radiální protlačování

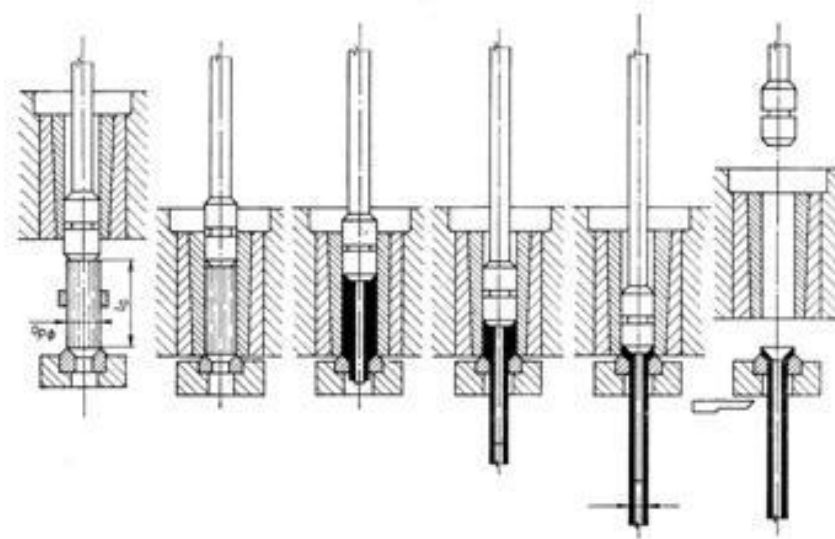
Při stranovém protlačování se tvářený materiál pohybuje kolmo na směr pohybu průtlačníku a slouží k výrobě průtlačků s vnějším i vnitřním oboustranným osazením. Radiálním protlačováním rozumíme tváření, při kterém se materiál i části nástroje pohybují v radiálním směru vzhledem k ose materiálu.



4.6. Speciální způsoby protlačování

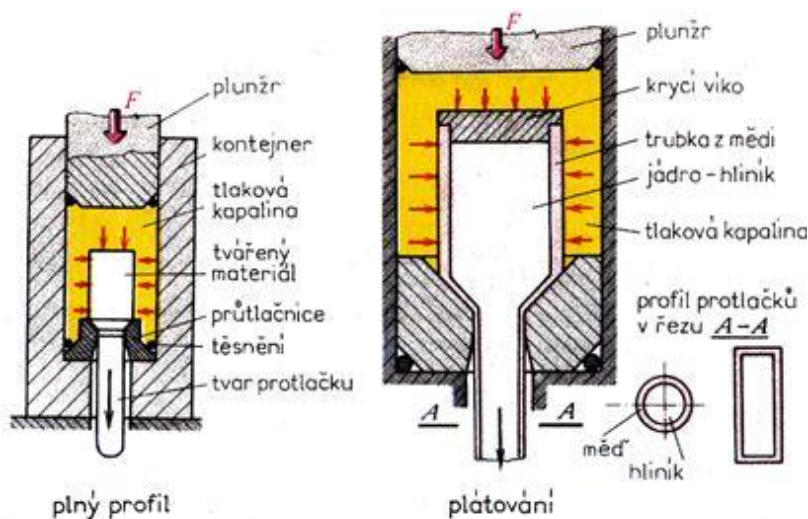
Protlačování trubek

U technologie **protlačování trubek** jsou výchozím polotovarem válcované špalky potřebné délky. Následuje většinou ohřev a vlastní **děrování a protlačování dopředným způsobem**. Po skončení procesu zůstává v matrici zbytek, technologický odpad, který se musí odstranit. Stupeň deformace je velký, kdy součinitel prodloužení je 8 až 25 (z polotovaru o délce např. 700 mm a průměru 200 mm lze vyrobit trubku délky 6 až 18 m).



Hydrostatické protlačování

Další speciální technologií je **hydrostatické protlačování**, kdy je polotovár obklopen kapalinou o vysokém tlaku. Tím se v něm vytváří všestranné napětí a tvárnost materiálu se zvýší. Technologické možnosti hydrostatického protlačování jsou dnes již takové, že se může protlačovat již bez fosfatizační vrstvy, nebo např. výrobky plátované mědí. Hydrostatický tlak je až 3000 MPa. Přetvoření v jedné operaci může dosáhnout až 80 %.



4.7. Stroje a nástroje pro protlačování

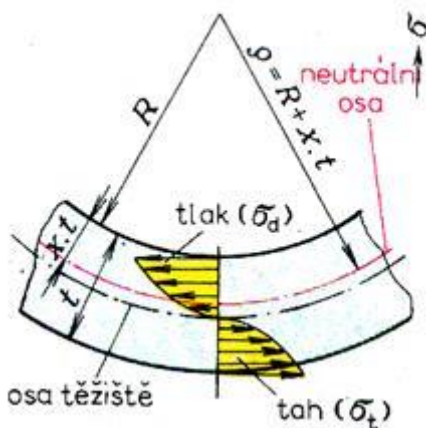
Důležitým faktorem je také *konstrukce* nástroje a *geometrie průtlačníku a průtlačnice*. Nelze volit libovolné úkosy, rádiusy, zaoblení, apod. tvarových částí nástroje. Nástroj, který je složen z průtlačníku a průtlačnice jako hlavních částí, je namáhán vysokými měrnými tlaky, proto závisí na jeho materiálu, tepelném zpracování a drsnosti povrchu. Životnost tvarových částí nástrojů je od 3000 do 50000 kusů. Proces protlačování ocelí za studena je omezen pevností materiálu průtlačnice, ale při zpětném protlačování i pevností materiálu průtlačníku.

K protlačování za studena se používá většinou mechanických klikových a kolenových vertikálních lisů a lisů hydraulických. Lisovací síla je 300 až 120000 kN. Při protlačování za tepla se zpracovávají materiály, jejichž tvářitelnost je za studena omezená a např. válcování by bylo příliš nákladné. Po protlačování jsou protlačky vysunuty z pracovního prostoru vyhazovačem nebo sfouknuty stlačeným vzduchem. Při kombinovaném protlačování se vyhazují protlačky buď vyhazovačem nebo stěračem podle toho, zda ulpí na průtlačníku nebo zůstanou v průtlačnici. Vnitřní stěny protlaček jsou mírně kuželové s úkosem 1 až 2°. Nástroj musí být opatřen otvory pro únik vzduchu a maziva.

5. Ohýbání

5.1. Technologie plošného tváření - ohýbání

- Ohýbání je proces tváření, při kterém je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším nebo větším zaoblením hran.
- K ohýbání používáme nástroje - *ohýbadla*, skládající se z *ohybničku* a *ohybnice*.
- Výrobkem je *výlisek ohybek*.
- Ohnutí tělesa (vzniklé tvary jsou nazpět rozvinutelné) do žádoucího tvaru využívá stejných zákonů plasticity, jako ostatní způsoby tváření - překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou. Po průřezu je to pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose.

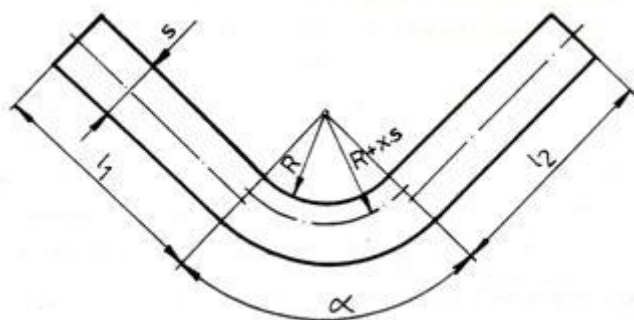


Rozložení a velikost napětí v materiálu

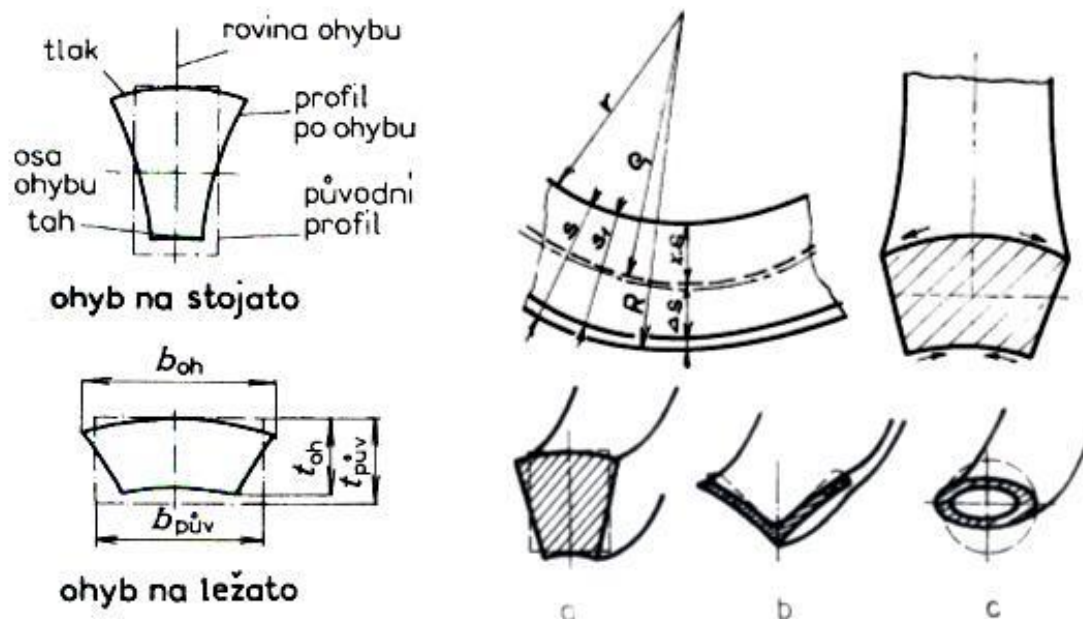
5.2. Deformace průřezu, neutrální osa

Při ohybu nastává deformace průřezu, vyšší průřezy jsou více deformovány, než průřezy nižší. U širokých pásů ($b \geq 3s$) nedochází k deformaci, protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce. Vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu jsou v podélném směru stlačovány, zkracovány a roztahovány v příčném směru. Vrstvy kovu na vnější straně ohybu se roztahují a prodlužují v podélném a stlačují se v příčném směru.

Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují hodnot nižších, než je mez kluzu daného materiálu. V přechodu mezi těmito dvěma pásmy jsou vlákna bez napětí a bez deformace. Jejich spojnice tvoří tzv. neutrální osu, ve které není napětí a která se při ohýbání ani neprodlouží ani nezkrátí. Neutrální osa je na začátku uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.



Posunutí neutrální osy v místě ohybu



Deformace průřezu během ohýbání pro rozdílné výšky a profily

Z délky neutrální osy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků se určuje rozvinutá délka polotovaru před ohybem. U tenkých plechů není tento rozdíl patrný, ale při ohýbání tlustých plechů se však s tímto musí počítat. Vzdálenost x , která charakterizuje polohu neutrální osy, závisí na poměru R/t – viz. tabulka, a poloměr ohybu neutrální osy je potom

$$\rho = R + x \cdot T$$

kde

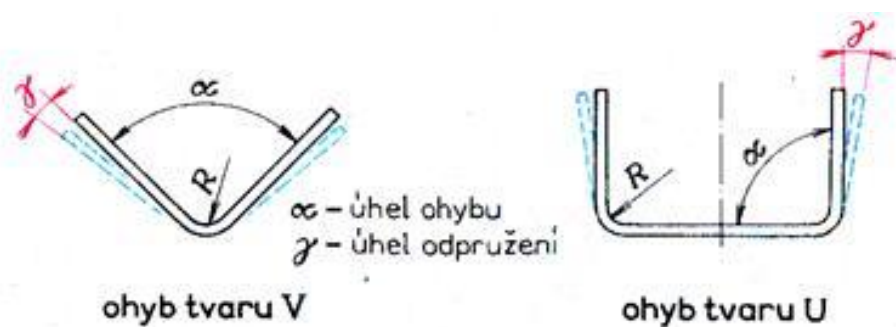
R ... vnitřní poloměr ohybu [mm],

x ... součinitel posunutí neutrální osy,

t ... tloušťka materiálu [mm].

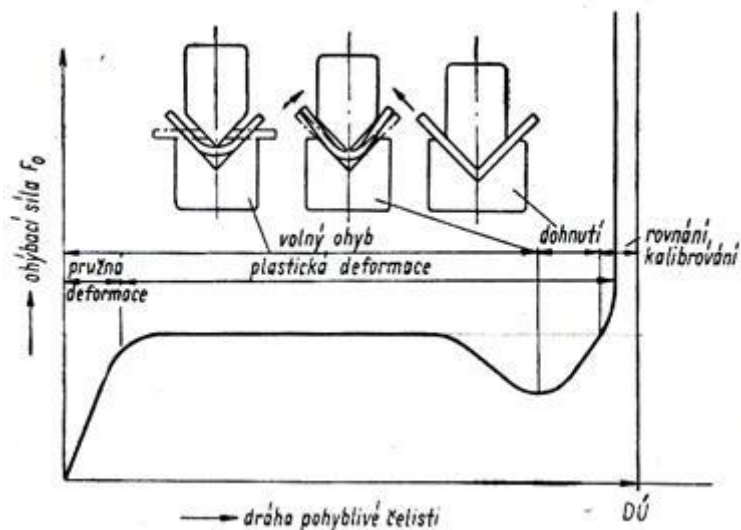
5.3. Odpružení

Pominou-li vnější síly na deformované těleso, rozměry tělesa se částečně vrátí do původních, tj. těleso *odpruží*. Zatímco u dříve probraných technologií bylo odpružení zanedbatelné, má při ohýbání značný význam. Odpružení při ohybu se projevuje jako úhlová odchylka γ , jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Bývá v rozsahu 3 až 15°.



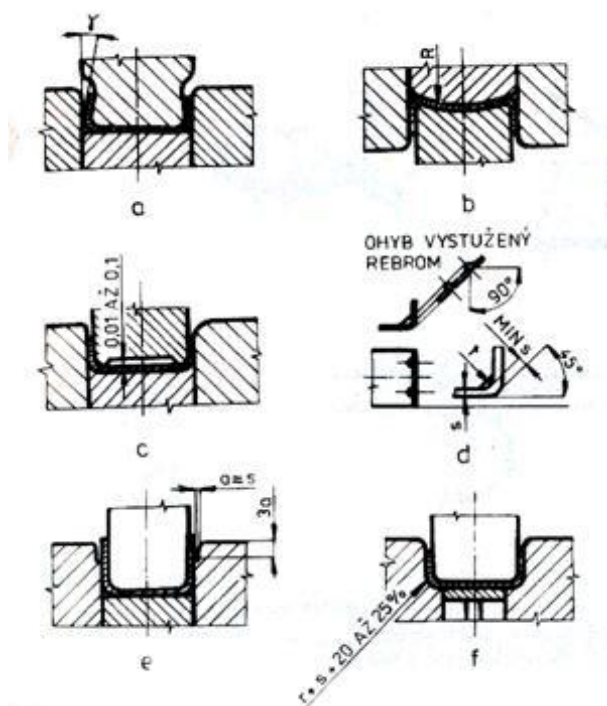
Odpružení se většinou omezuje tak, že:

- materiál se ohne více o hodnotu úhlu odpružení γ , který se určí buď podle empirických vzorců nebo z tabulek. Nástroj se musí navrhnout s korekcí o úhel γ , má-li mít výlisek požadovaný tvar,
- použije se *kalibrace*, tj. zvětšíme lisovací sílu na konci lisovacího cyklu, dochází k místní plastické deformaci v místě ohybu a hodnota odpružení se snižuje, až případně vymizí úplně;



Průběh ohýbací síly včetně kalibrace

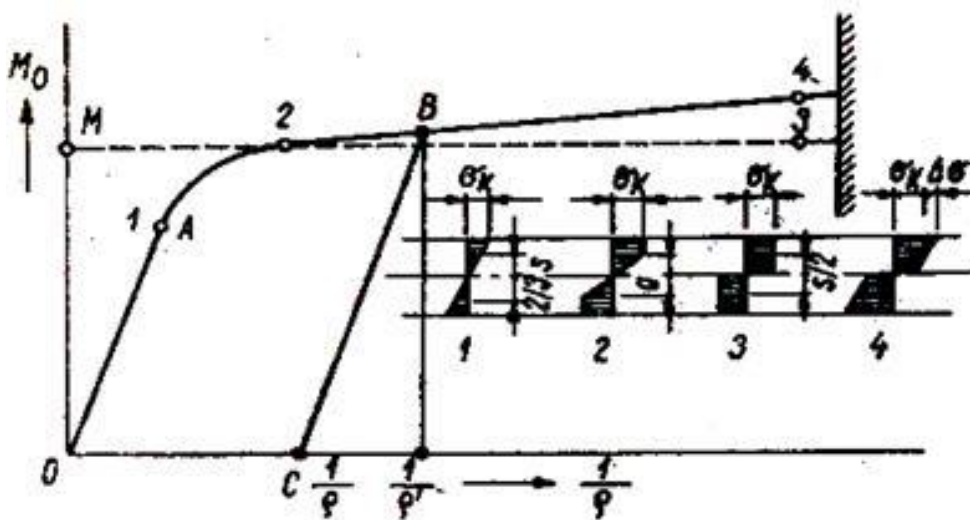
- použije se **prolisů** na **výlisku**, kdy se odpružení odstraní téměř úplně. Odpružení při ohybu je možné vyloučit např. těmito opatřeními: podbroušením pohyblivé čelisti o úhel γ , zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem R , zpevněním materiálu v rozích rázem, vylisováním vyztužovacího žebra v místech ohybu, postupným ohýbáním s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu a zpevněním materiálu deformačním poloměrem v pevných čelistech.



Konstrukční úpravy čelistí ohýbadel proti odpružení materiálu

5.4. Rozložení napětí

- Při ohybu jsou napětí v krajních vláknech materiálu opačného smyslu (tah, tlak).
- Na obrázku, v **oblasti 1**, je ukázáno rozložení napětí v příčném průřezu materiálu namáhaného ohybem, a to pod mezí kluzu.
- Vzroste-li napětí nad hodnotu meze kluzu, vyvolá to růst plastické deformace (uprostřed). Při tom se napětí v pásmech plasticky deformovaných nad hodnotu meze kluzu nezvětšuje (**oblast 2**).
- Zvětšujeme-li ohýbací moment přestane pružné jádro existovat a velikost napětí se již nemění – **oblast 3**.
- Uvažujeme-li zpevňování materiálu při tváření za studena, platí poměry podle schématu **oblasti 4** a obrázku vpravo.
- V okolí neutrální osy je pásmo pružných deformací, které je příčinou odpružování po odlehčení.

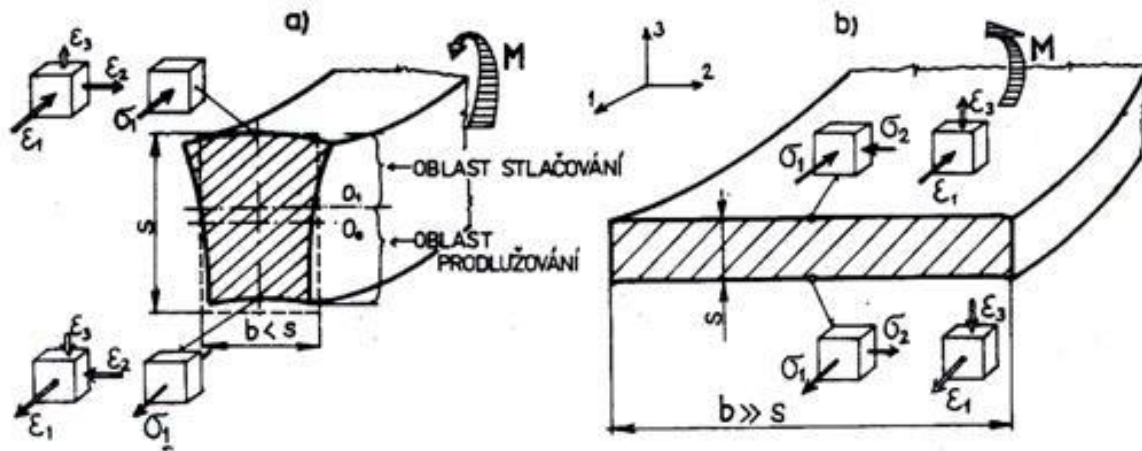


Rozložení napětí v příčném průřezu při ohybu materiálu

V místě ohybu vykazuje tedy ohýbaný materiál tři pásma (napjatost v ohýbaném materiálu pro tenký plech je ukázána na obrázku:

- pásmo pružných deformací kolem neutrální osy,
- vnější pásmo trvalého prodloužení,

- vnitřní pásmo trvalého napěchování



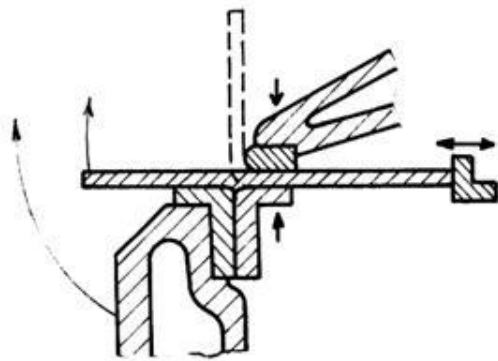
Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu

5.5. Technologické postupy ohýbání

- Ohýbat se dá volně nebo v pevném nástroji.
- Technologické postupy ohýbání se dají rozdělit podle několika hledisek:
 - *podle použitého stroje,*
 - *podle poloměru zakřivení,*
 - *podle technologického způsobu.*

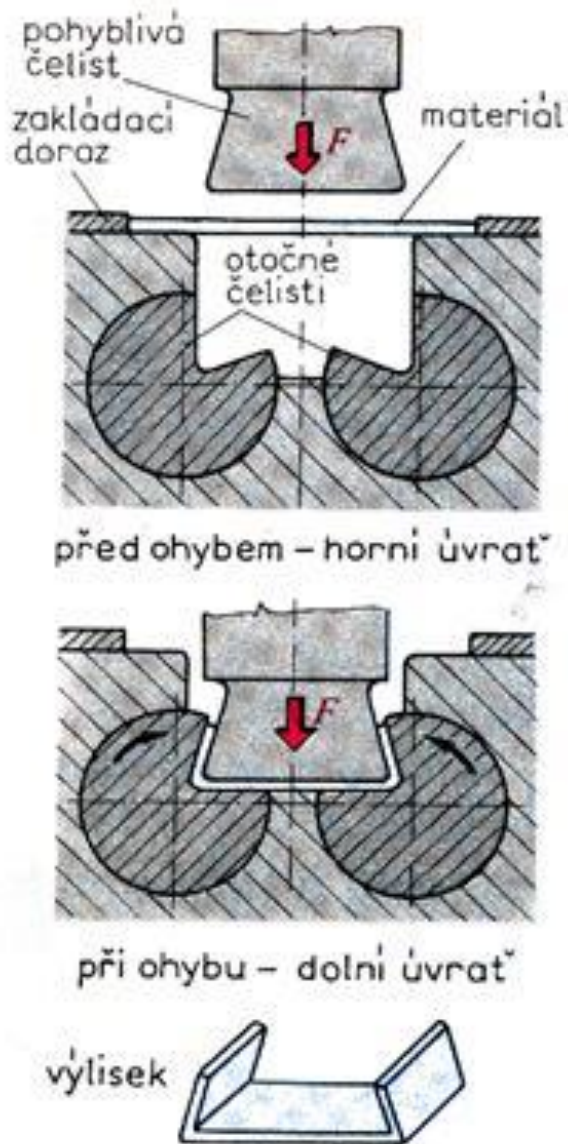
Rozdělení technologických postupů podle stroje

- ohýbání ruční na **ručních strojích, ohýbačkách.**
- Všechny ohýbací operace není vhodné a ani možné dělat na lisu. Pro některé se staví speciální ohýbací stroje, ovládané i ručně. Tak např. pro ohyb dlouhých pruhů a plechů je uzpůsoben stroj s odklopnou deskou podle schématu na obrázku.
- Materiál určený k ohybu se podloží na stůl stroje a urovná na zarážku. Potom se sevře u ohybové hrany. Hrana je na nástroji tvořena vyměnitelnou ocelovou kalenou lištou. Po sevření se materiál ohýbá odklápěním desky v celé délce najednou o libovolný úhel rovněž předem nastavitelný zarážkou. Ke stroji se dodává řada pomocných zařízení.



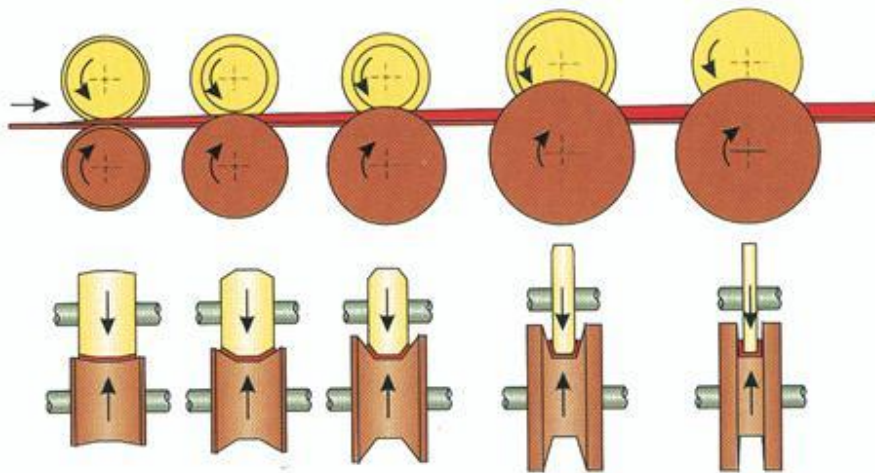
Ohýbací stroj s otočnou deskou

- Ohýbání na lisech v ohýbacím nástroji, ohýbadle, kterého pohyblivá čelist vykonává přímočaré vratné pohyby.
- Toto ohýbání se dělá na
 - mechanických
 - hydraulických lisech,
 - speciálních strojích - což je závislé na vlastním technologickém procesu.
- Ohýbadla pro aplikaci na lis se stavějí, v porovnání s ostatními nástroji, dosti jednoduchá, často nemívají ani vlastní vedení. Na obrázku je ukázka konstrukce nástroje pro ohyb přes 90°.
- Válcové části nástroje jsou otočné kolem osy válců a do původní polohy je vracejí pružiny. Výrobek se vyjme z nástroje sesunutím z ohybníku, směrem kolmo na rovinu ohybu.



Nástroj pro ohyb přes 90°

- ohýbání na válcích, kdy nástrojem jsou samotné válce, které vykonávají otáčivý pohyb. Příklad ohýbání válcováním je na následujícím obrázku.



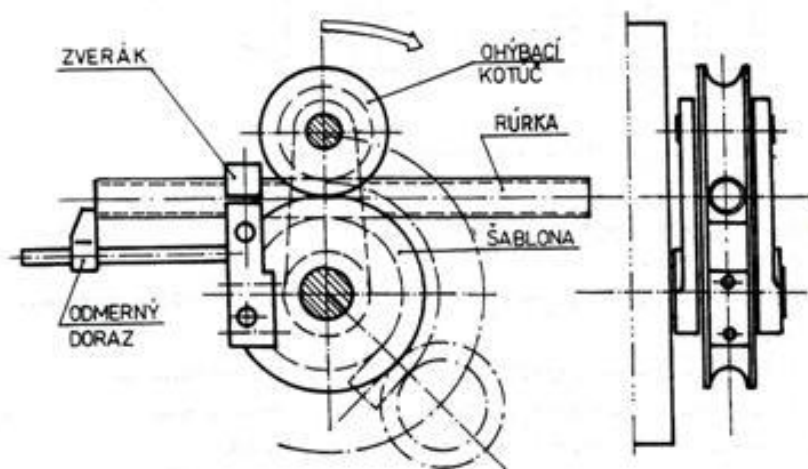
Ohýbání válcováním na válcích

Rozdělení technologických postupů podle poloměru zakřivení

- ohyb s malým poloměrem za vzniku velké plastické deformace,
- ohyb s velkým poloměrem zakřivení při poměrně malém stupni plastické deformace.

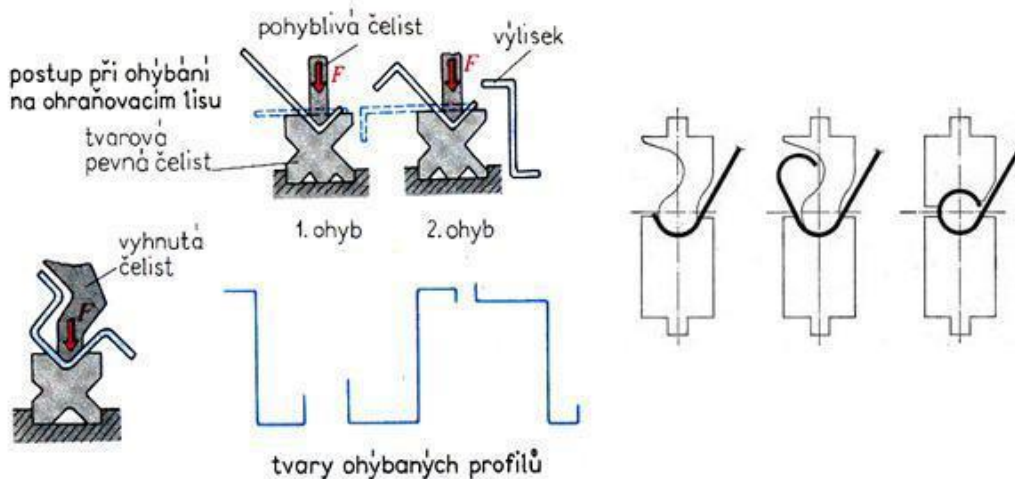
Rozdělení podle technologického způsobu výroby

- „klasické“ ohýbání - příklady ohýbání byly ukázány již dříve na obrázcích a schématech a navíc je na obrázku ukázáno **ohýbání trubek**. Ohýbání se provádí odvalováním tvarového kotouče přes trubku vloženou do drážky druhého kotouče. Dvojice kotoučů je výměnná, drážky musí poměrně přesně souhlasit s vnějším průměrem trubek. Zploštění trubek při ohýbání se zabraňuje tím, že trubka v tvarové drážce kotoučů má zabráněno v rozšiřování.



Ohýbání trubek

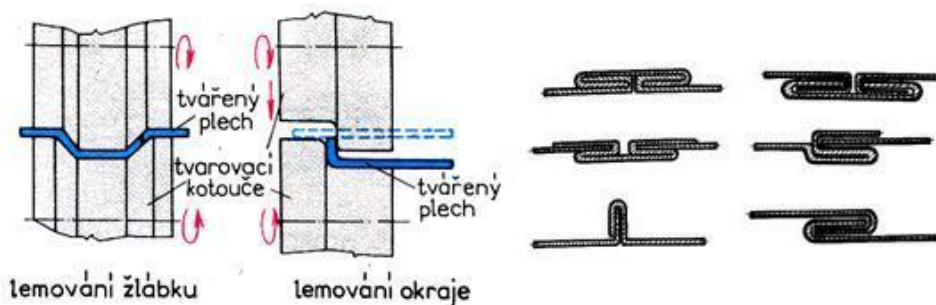
- **Ohraňování** na lisech, které slouží k výrobě různých profilů tenkostěnných, ale i o tloušťce 20 mm, profilů o malém poloměru zaoblení. Princip se neliší od **ohýbání v nástroji** na běžném lisu. Rozdíl je v délce nástroje i lisu. Délka je omezena šířkou ohraňovacího lisu.



Příklady technologie ohraňování

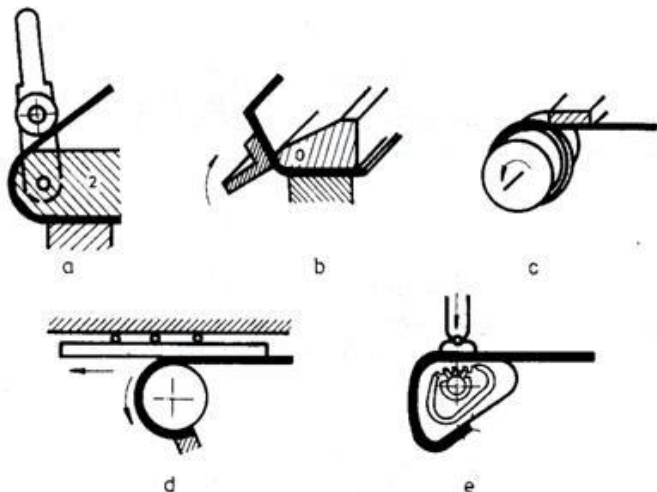
Výchozím materiálem jsou pásy plechu. Každá tvářecí operace se provede na jeden zdvih lisu a pro každý tvar profilu se musí na lis upevnit samostatné nástroje. Nástroj je tvořen opět z různých ocelových lišt, které se jednak ke stroji dodávají, jednak speciálně konstruují a vyrábějí. Horní část nástroje může být tvarová. Ohraňovací lis je **mechanický**, obvykle vícebodový lis, umožňující použití dlouhých lištových nástrojů. Na obou popsaných strojích se ohyb provádí v celé délce materiálu najednou.

- **lemování** je operace, kdy potřebujeme **vyztužit okraj výlisku**, anebo připravit polotovary na dodatečné vytvoření spoje. Také slouží k výrobě žlábků uprostřed nebo na okraji pro zvýšení tuhosti výlisku.



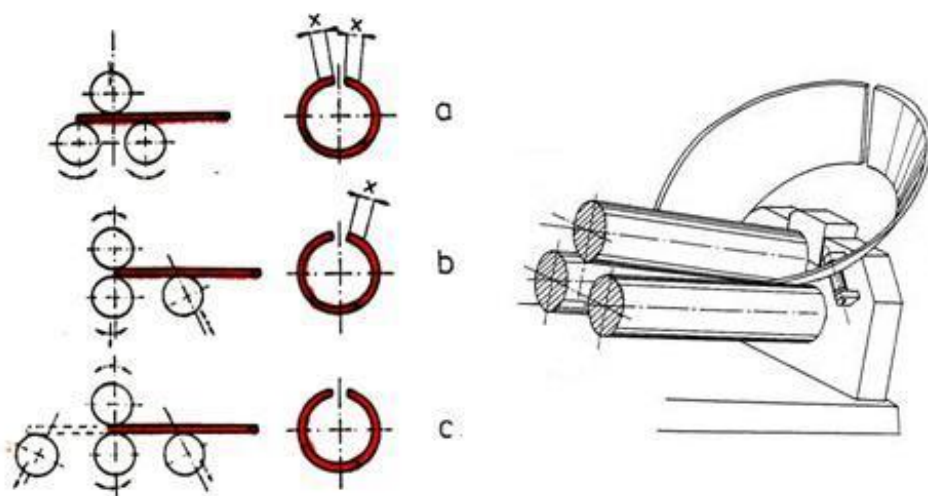
Princip technologie a příklady lemování

- **navíjení** je proces, kdy se tvářený materiál navíjí postupně na válec a dostává požadovaný tvar shodný s tvarem nástroje. Nejčastěji se navíjení používá u plechů do svitku.



a - ruční, b - na ohýbačkách, c - navíjení pružin na trn, d - navíjení tyčí, e - navíjení pásu na šablonu

- **zakružování** pomocí válců se používá při výrobě válcových nebo kuželových plášťů nádob, trubek, a to i plechů tlustých 30 mm. Tlustší plechy se potom zakružují za tepla. Stroje pro tento účel se nazývají zakružovací stroje a jejich různé uspořádání ukazuje obrázek. Stroje jsou zakružovadla a jsou buď tříválcová nebo víceválcová a jejich konstrukce je závislá na tloušťce plechu a požadavcích na zakroužení konců plechu. Jedná se o dva stroje tříválcové a jeden čtyřválcový. U každého je šipkou naznačen možný posuv válce, resp. válců. U stroje prvního typu vlevo nahoře, zůstanou okraje nedokroužené (parametr x), u stroje uprostřed jeden okraj. Uspořádání vlevo dole zajišťuje ohyb plechů až do obou krajů.

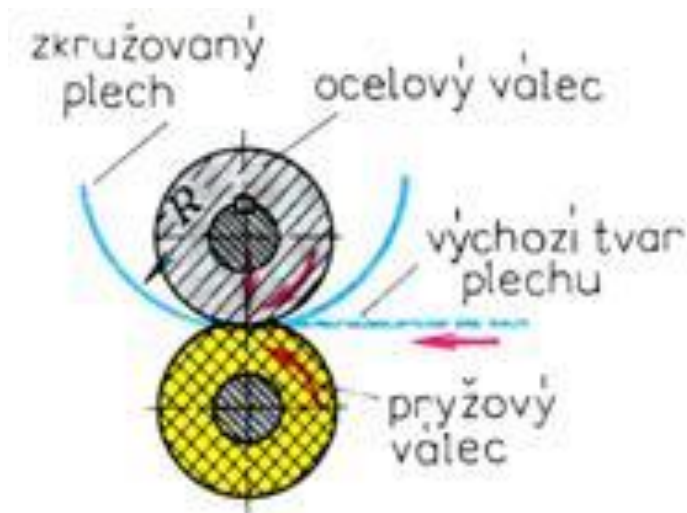


*Uspořádání zakružovaček (vlevo) a detail zakružování kužele (vpravo)
a - tříválcová symetrická, b - tříválcová nesymetrická, c - čtyřválcová*

Tenké plechy se zakružují na strojích s ocelovým a pryžovým válcem – technologie ohýbání elastickým nástrojem. Poloměr zakružování se mění podle stlačení pryže. Povrchová kvalita výlisků je výrazně lepší, ale je potřeba větší přetvárná práce, neboť část se jí spotřebuje na deformaci pružné části nástroje – pryže.

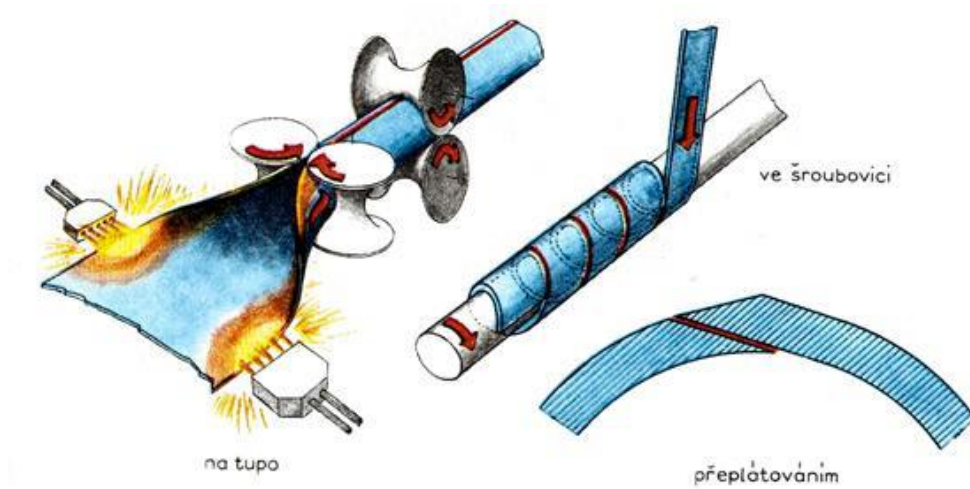
- válcování, profilování, stáčení na lisech se provádí v důsledku vytvoření kruhového tvaru na

krajích plechu. Jedná se o postupné spojitě ohýbání pásů na profilovacích strojích a slouží k výrobě trubek (svařovaných, tenkostěnných) a profilů nebo při stáčení křídel závěsů s využitím svislého pohybu beranu lisu. Při válcování nastává postupná změna tvaru ohýbáním na válcích, které jsou odstupňované rozměrově tak, že v pásu plechu vzniká vodorovný tah a pás se pohybuje samovolně. Rychlost je vysoká, kolem 25 m.min⁻¹.



Zakružovadlo s pryžovým válcem

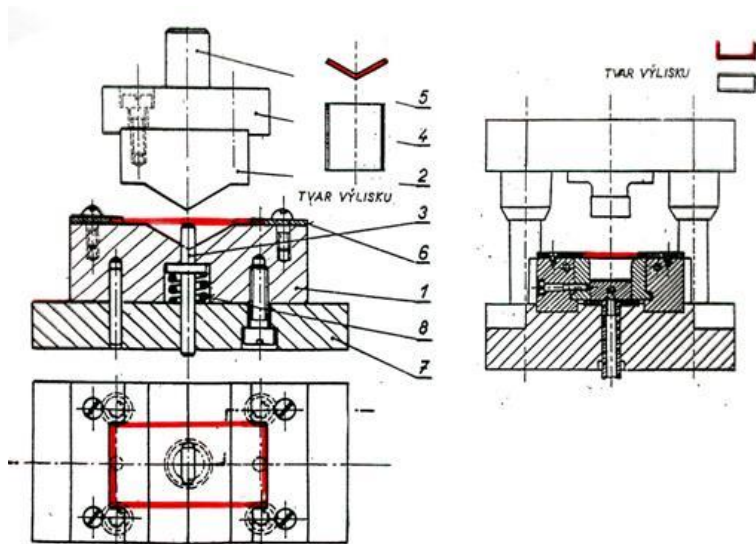
K profilování se mohou používat i jednoduché dvoudílné nástroje, které jsou vyrobeny jako dvojice kotoučů tvarově profilovaných. Na obrázku vlevo je zařízení upravené pro postranní ohyb plechu, na obrázku vpravo pro žlábkování. Postranní ohyb i žlábek je možno provést na okraji rovinného plechu (pásu), i na okraji plechu svinutého do tvaru válcového pláště. Postupným ohýbáním z pásu je možno vyrobit profil libovolné délky, a to i u složitějších profilů.



Výroba tenkostěnných trubek profilováním, stáčením, přeplátováním

5.6. Ohýbací nástroje

Nástroj pro ohýbání je **ohýbadlo** a hlavní části jsou *ohybník* a *ohybnice*, popř. základní dorazy. Ohýbadla se dělí podle způsobu a technologie ohýbání, nejčastěji pro ohýbání do tvaru U a V. Většinou nejsou samostatná a konstruují se jako nástroje sdružené.

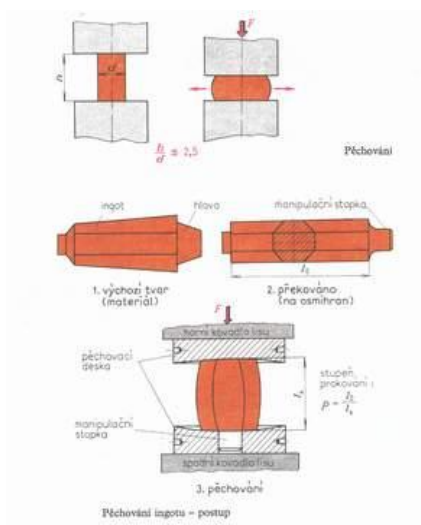


Ukázka nástrojů pro ohyb do tvaru V (vlevo) a U (vpravo)

6. Speciální způsoby kování

6.1. Pěchování

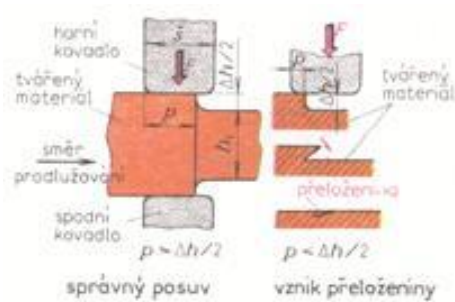
- Mezi základní práce a principy volného kování patří **pěchování**.
- Pěchování je nejjednodušší tvářecí přetvárný proces, při kterém dochází k plastické deformaci materiálu mezi dvěma plochými nebo tvarovými čelistmi, resp. v dutině.
- Pěchování je na druhé straně silově a energeticky nejnáročnější kovářskou operací. Je to buď přímá kovářská operace při kování plochých výkovek, anebo předběžná operace pro dokonalé prokování materiálu, snížení anizotropie a výhodnější průběh vláken.
- Zmenšuje se výška a zvětšuje se plocha průřezu.
- Pro pěchování je nutné prohřát celý materiál rovnoměrně a zajistit rovnoběžnost čelních ploch, omezit štihllost polotovaru (nebezpečí ohybu) a zajištění kolmosti k ose stroje.



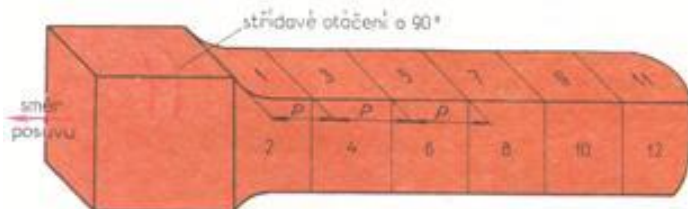
Pěchování válcových polotovarů

6.2. Prodlužování

- Další technologií volného kování je **prodlužování** (kování do délky, vytahování).
- Je to nejpoužívanější operace při volném kování. Podstatou je provedení většího množství pýchovacích operací vedle sebe, čímž dochází k prodlužování a zároveň ke zmenšení plochy příčného průřezu.
- Polotovarem se nejčastěji střídavě otáčí o 90° a posouvá o posuv p , čímž se vyrovnává rozšíření. Záběr p je vždy menší, než šířka kovačla s .

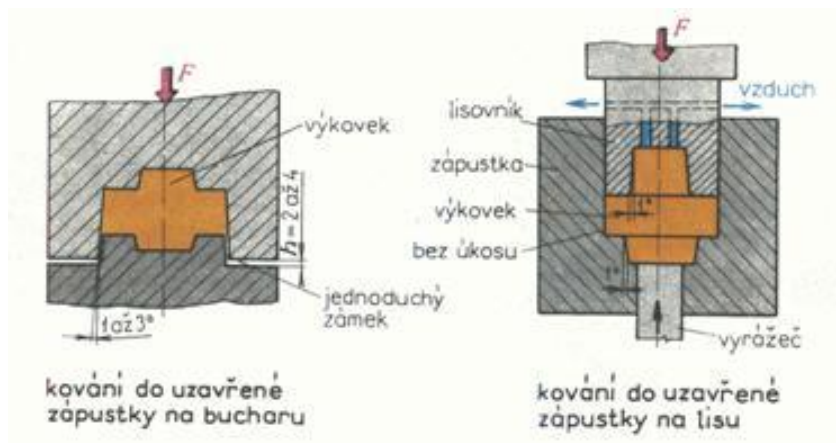


Prodlužování



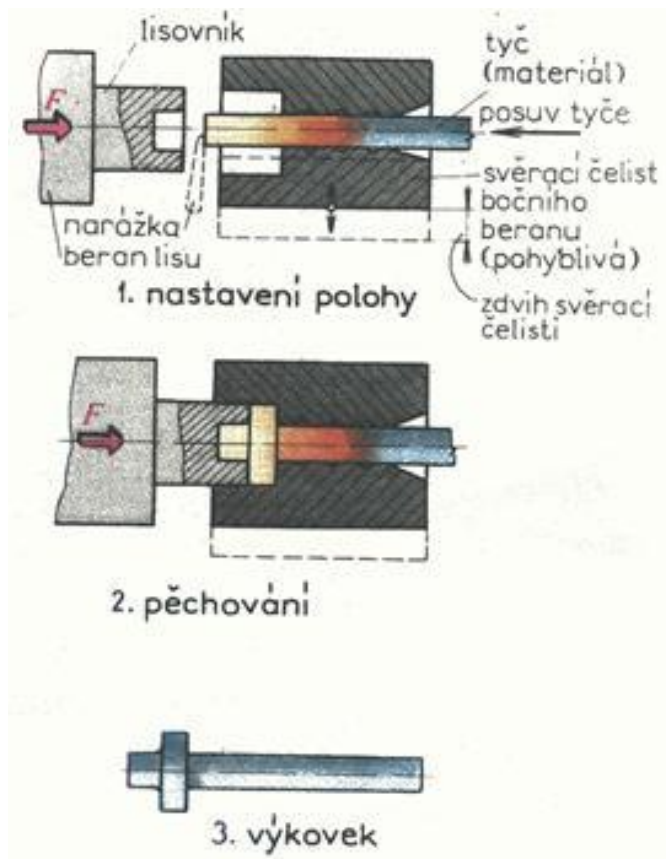
6.3. Přesné kování

- Výkovky s minimálními přídávky na obrábění i úkosity se zhotovují v uzavřených zápustkách, tzv. **přesným kováním**.
- Pro úspěšné kování je třeba přesně dodržovat objem a středění vloženého materiálu do zápustky. Nejvýhodnější jsou rotační tvary.



6.4. Kování na vodorovných kovacích strojích

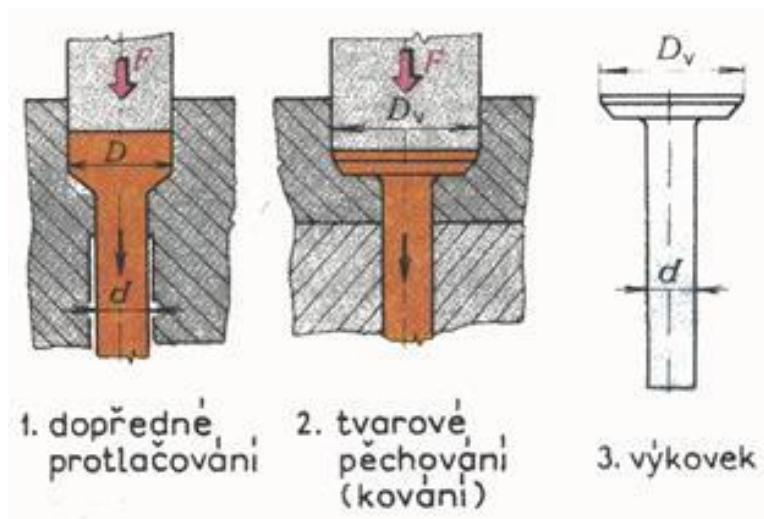
- Kování na vodorovných kovacích strojích umožňuje částečnou nebo i úplnou automatizaci výrobního procesu.
- Jedná se v podstatě o horizontální klikové lisy vhodné hlavně pro pěchování z tyčového materiálu a práci s uzavřenými zápustkami.
- Princip práce je naznačen na obrázku.
- Zápustka je třídílná, uzavřená, kove se bez výronku. Dutinová část zápustky je dvoudílná, dělená svislou nebo vodorovnou dělicí rovinou, opatřená zdrsňným průchodem pro tyčový materiál. Po přiblížení obou polovin působí jako sklíčidlo tyčového materiálu. Třetí, pěchovací díl se do dutiny osově zasouvá.
- Stroj pracuje tak, že se tyč posune do kovací polohy, na zarážku. Tím je přesně určen objem kovaného materiálu. Potom dvoudílný blok tyč sevře a zarážka se odsune. V této fázi se vyčnívající konec tyče ohřívá, dnes nejčastěji indukčně.
- Po zpěchování ohřátého konce tyče, oddělí posuvný nůž výkovek od tyče a pracovní cyklus se může opakovat.



Kování na vodorovných kovacích strojích

6.5. Kování protlačováním

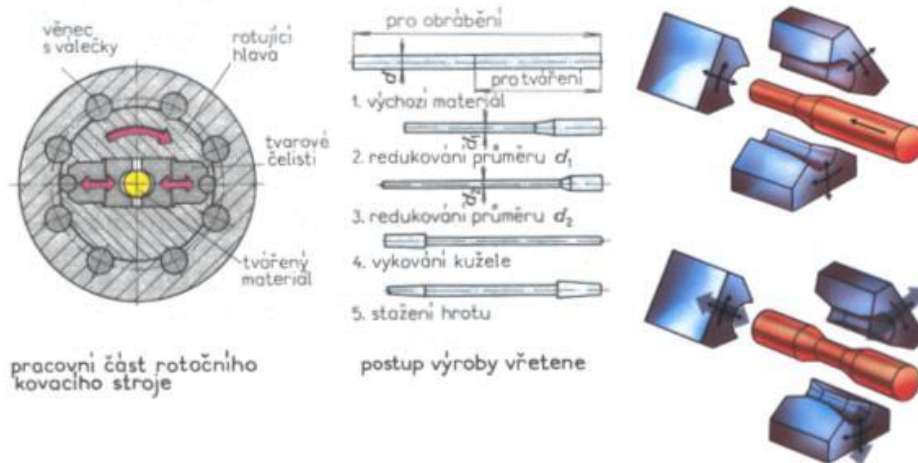
- Dalším technologickým procesem je kování - **protlačování** za tepla, kdy tvářený materiál je v uzavřené záпустce stlačován průtlačníkem.
- Je to vlastně kombinace protlačování a kování. Tento způsob se používá pro slitiny hliníku a mědi, ale i pro ocel.
- Zvyšuje se tvárnost kovu, protože materiál je vystaven prostorové tlakové napjatosti.
- Může být řešeno jako dopředné, zpětné nebo sdužené. Je zde velký vliv tření a je potřeba brát v úvahu vysokou pevnost nástrojů a teplotní odolnost nástrojů.



6.6. Kování za rotace

- Zvláštním případem kování je tzv. **kování za rotace**.
- Dochází při něm k redukci průřezu na menší průměr nebo k vykování válcové části na hranatém profilu. Na rozdíl od ostatních procesů kování se kování za rotace provádí za studena. Součásti větších průměrů (nad) se kovou za tepla.
- Mezi kování je řadíme hlavně proto, že deformace nastává opakovanými údery.
- Princip stroje: dvě kovádla s možností posuvu v radiálním směru se roztočí. Odstředivou silou jsou unášena směrem k obvodu, kde však narážejí na kalené válce, které jim udělují zpětný impuls. Tím vzniká opakovaný ráz.
- Polotovár se pomalu otáčí a osově posunuje do procesu tváření.

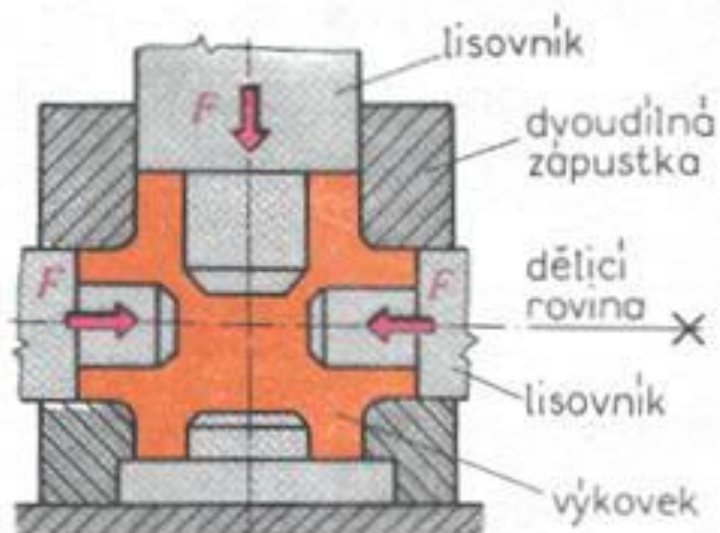
Příklady rotačního kování a metody rotace jsou ukázány na obrázcích



Princip kování za rotace

6.7. Vícecestné kování

- Posledním speciálním způsobem kování je **kování vícecestné**.
- Materiál je v uzavřené zápustce podroben tlaku lisovníků z několika stran.
- Výkovky jsou přesné s minimálními přídávky na obrábění.



STATIKA

1. Základní pojmy, principy a axiomy statiky

1.1. Základní pojmy

Pevné těleso

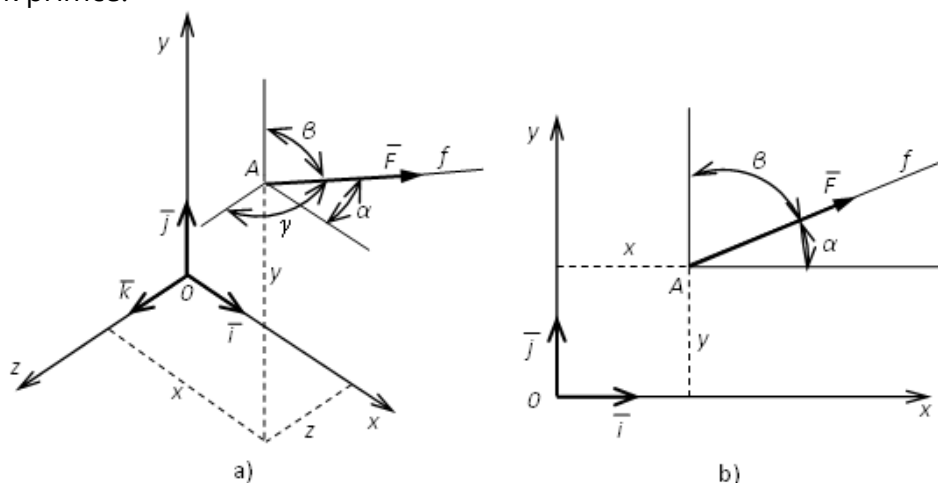
Rozumí se dokonale pevné těleso – je těleso, útvar, ve kterém se při pohybu vzájemná vzdálenost dvou libovolných bodů nemění.

Hmotný bod

Hmotný útvar, jehož rozměry je možné zanedbat. V staticce rozumíme bod tělesa, ve kterém si představujeme soustředěnou hmotu celého tělesa.

Síla a moment síly

Síla je základní mírou účinku dvou objektů. Síla je vektorová veličina. Síla je vektorem vázaným k přímce.



Obrázek 1

- Síla v prostoru (*Obr. 1a*) jednoznačně určena 6 parametry: působišťem $A(x, y, z)$ – 3 parametry, velikostí F – 1 parametr, polohou f a orientací – úhly α, β, γ – 2 nezávislé parametry, protože úhly jsou vzájemně vázané vztahem:
 $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$.

- Síla v rovině (*Obr. 1b*) je jednoznačně určena 4 parametry: $A(x, y), F, \alpha$ (β), protože

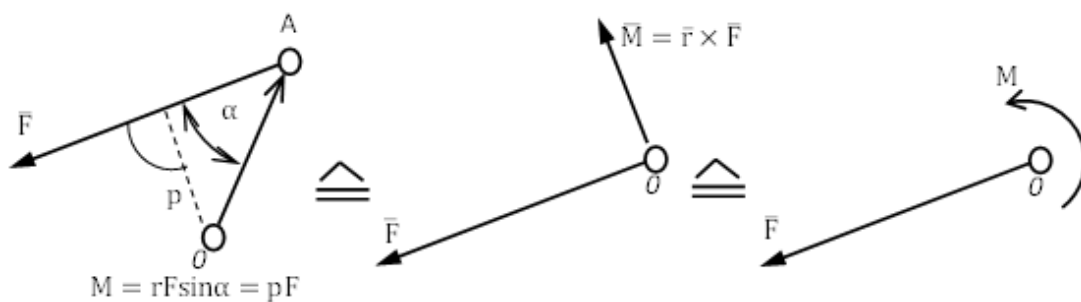
$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$$

$$\sin^2\alpha + \cos^2\beta = 1.$$

Síla má účinek:

- posuvný – stejný na všechny body objektu, na který síla působí – rovný velikosti síly,
- otáčivý, který je jiný na každý bod objektu. Velikost otáčivého účinku je závislá na kolmé vzdálenosti bodu od nositelky síly a je určena momentem síly k danému bodu.

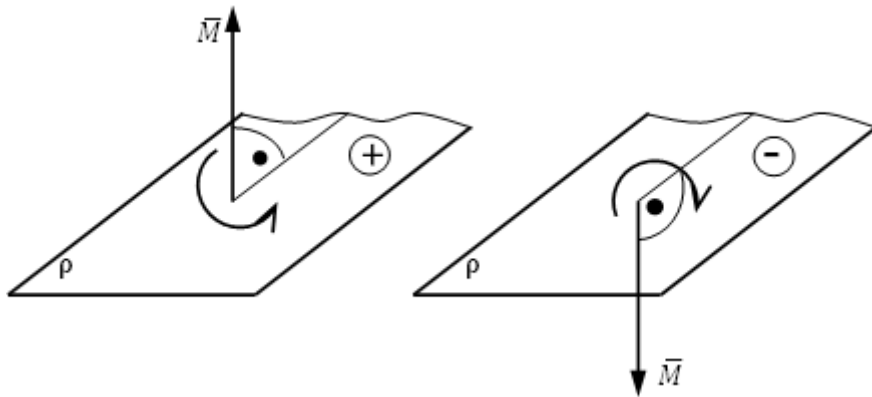
Moment síly – je vektor definovaný jako vektorový součin $\underline{M} = \underline{r} \times \underline{F}$. Absolutní velikost momentu síly k libovolnému bodu např. A je rovna součinu síly a ramene síly – její kolmé vzdálenosti od toho bodu (*Obr. 2*).



Obrázek 2

Orientace vektoru momentu síly je daná smyslem otáčení síly \underline{F} vzhledem k bodu A . Moment síly je kladný, pokud se otáčení děje proti smyslu otáčení hodinových ručiček.

Vektor momentu se znázorní jako vektor kolmý na rovinu otáčení. Orientace vektoru se určí dle pravidla pravé ruky (prsty pravé ruky ukazují smysl otáčení, palec pravé ruky ukazuje směr a smysl vektoru \underline{M}) (*Obr. 3*).

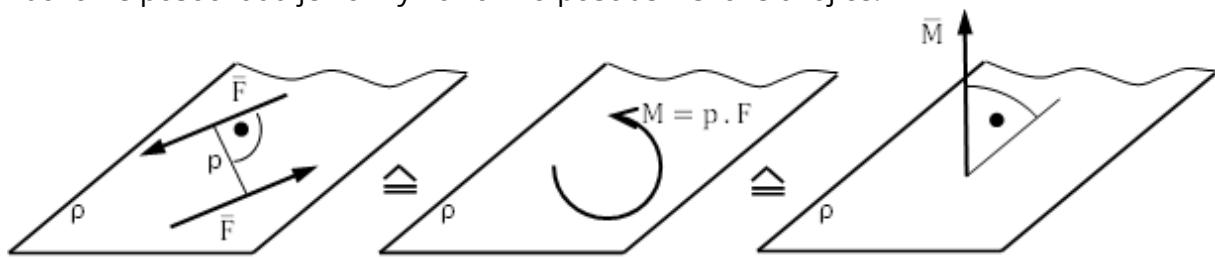


Obrázek 3

Silová dvojice (moment) – dvě síly vzájemně rovnoběžné, stejně velké, opačně orientované, které neleží na jedné nositelce. Silová dvojice nemá posuvný účinek, má jen účinek otáčivý, rovný součinu jedné ze sil a kolmé vzdálenosti mezi silami. Účinek silové dvojice je daný jejím momentem (Obr. 4)

$$M = p F.$$

Vektor momentu silové dvojice \underline{M} je vektorem volným, tzn. můžeme ho v prostoru libovolně posouvat a je kolmý na rovinu působení silové dvojice.



Obrázek 4

1.2. Jednotky síly a momentu

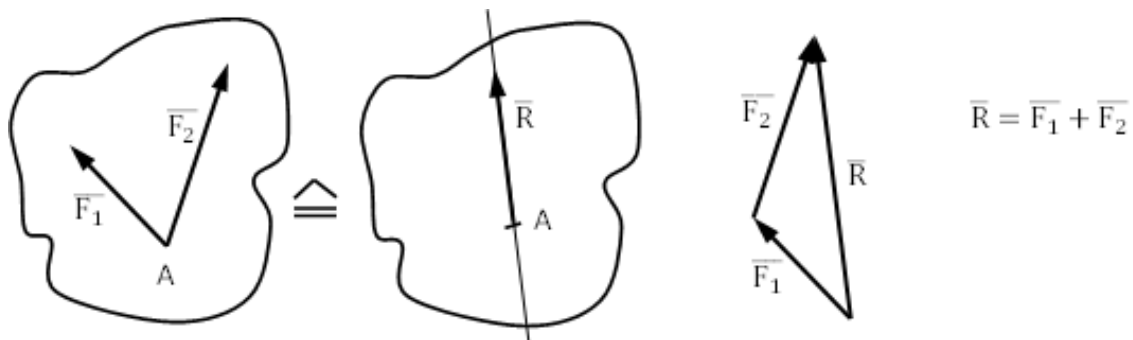
Hlavní jednotkou pro sílu je 1 Newton [N]. Je to síla, která udělí hmotnosti 1 kg zrychlení 1 ms^{-2} , tedy $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Hlavní jednotkou momentu je $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ [Nm]

1.2.1. Silové soustavy

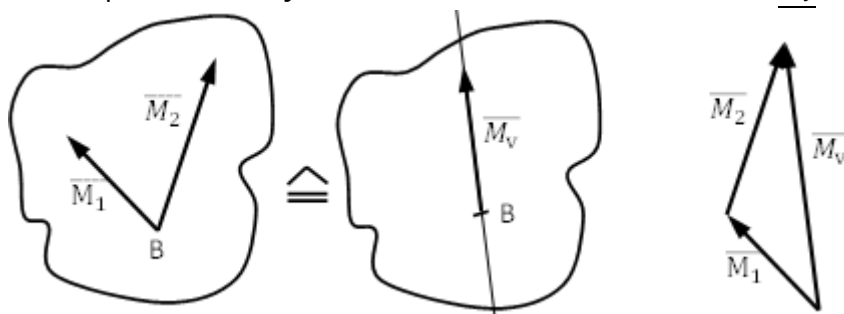
- Dvě a více sil působících na jeden objekt tvoří silovou soustavu.

- Pokud silovou soustavu je možné nahradit jedinou silou \underline{R} , nazývá se tato síla výslednicí dané silové soustavy. Silová soustava má potom posuvný účinek ve směru nositelky výslednice \underline{R} (Obr. 5).



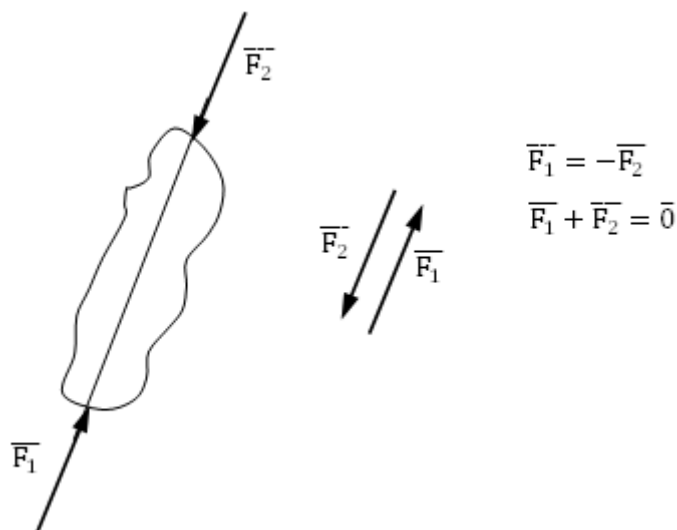
Obrázek 5

- Pokud silovou soustavu je možné nahradit jediným momentem $\underline{M_v}$, nazývá se tento moment výsledným momentem dané silové soustavy. Silová soustava má potom otáčivý účinek v rovině kolmé na moment $\underline{M_v}$ (Obr. 6).



Obrázek 1.6

- Obecně má silová soustava účinek posuvný i otáčivý.
- Silová soustava je v rovnováze, jestliže výsledný posuvný i otáčivý účinek je nulový. Nejjednodušší rovnovážnou silovou soustavou jsou dvě síly na jedné nositelce, stejně velké, opačně orientované (Obr. 1.7).

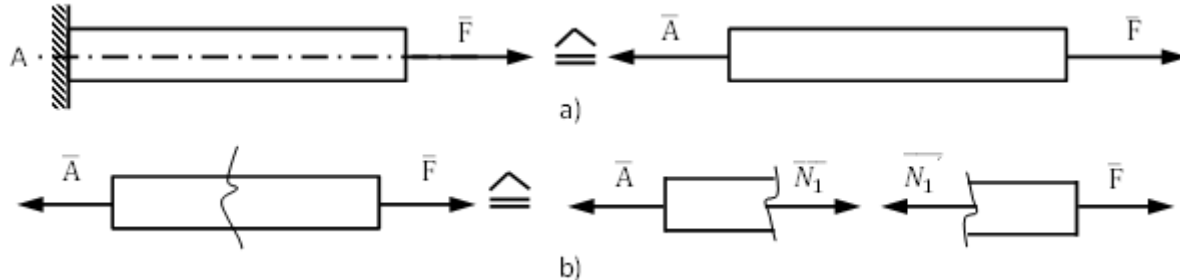


Obrázek 1.7

1.3. Rozdělení sil dle působení

Síly dělíme:

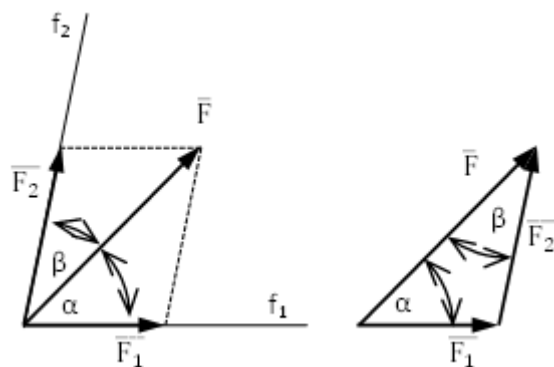
- vnější (Obr. 1.8a), vyjadřující účinek okolních útvarů na vyšetřovaný objekt. Jsou to síly zatěžující - primární (\underline{F}) a vazbové reakce - sekundární (\underline{A}), závislé na zatěžujících silách
- vnitřní (Obr. 1.8b), vyjadřující účinek jedné části tělesa (soustavy) na druhou ($\underline{N}_1, \underline{N}_1'$). Vnitřní síly jsou způsobené vnějšími silami.



Obrázek 1.8

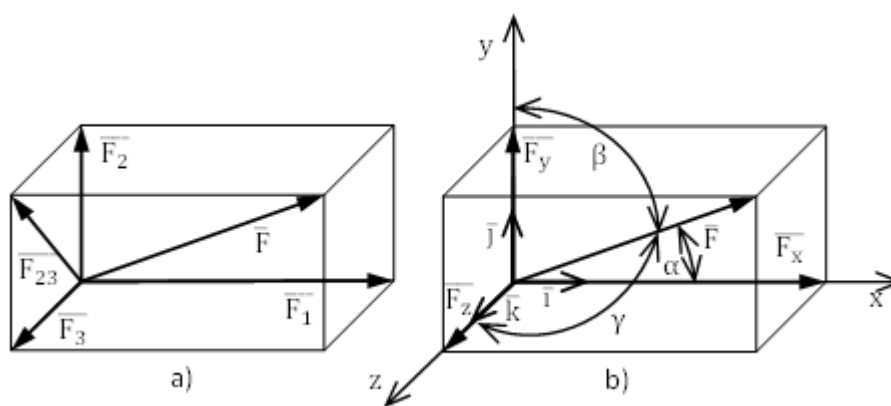
1.4. Rozklad síly, složky síly

Sílu \underline{F} v daném bodě v rovině můžeme jednoznačně rozložit do dvou složek $\underline{F}_1, \underline{F}_2$. Když je daná síla \underline{F} a směry nositelek její složek (dané úhly α, β), můžeme určit velikosti její složek $\underline{F}_1, \underline{F}_2$ (Obr. 1.9). Pokud je síla \underline{F} výslednicí sil \underline{F}_1 a \underline{F}_2 , potom $\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2$.



Obrázek 1.9

V prostoru je možné sílu rozložit do tří složek (Obr. 1.10a).



Obrázek 1.10

$$\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_{23}$$

$$\underline{F}_{23} = \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$

$$\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$

Pokud jsou složky síly vzájemně kolmé, můžeme do jich směrů umístit souřadnicové osy. Značíme je $\underline{F}_x, \underline{F}_y, \underline{F}_z$ a nazveme pravoúhlými složkami dané síly (Obr. 1.10b).

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z$$

V pravoúhlé souřadnicové soustavě jsou velikosti složek:

$$F_x = \underline{F} \cdot \underline{i} = F \cos \alpha$$

$$F_y = \underline{F} \cdot \underline{j} = F \cos \beta$$

$$F_z = \underline{F} \cdot \underline{k} = F \cos \gamma$$

$\underline{i}, \underline{j}, \underline{k}$ – jednotkové vektory

Složky můžeme vyjádřit jako: $\hat{=}$

$$\underline{F}_x = F_x \underline{i}$$

$$\underline{F}_y = F_y \underline{j}$$

$$\underline{F}_z = F_z \underline{k}$$

Výsledná síla je pak vyjádřena vztahem:

$$\underline{F} = F_x \underline{i} + F_y \underline{j} + F_z \underline{k}$$

Pokud známe velikosti složek síly, její velikost bude:

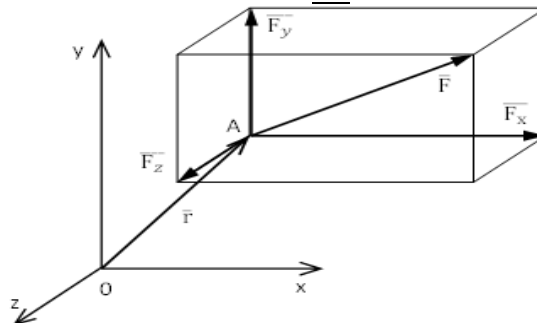
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

a její směr určíme pomocí uhlů α , β , (γ):

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F}, \cos \beta = \frac{F_y}{F}, \cos \gamma = \frac{F_z}{F}.$$

1.4.1. Varignonova – momentová věta

Moment síly k danému bodu je roven součtu momentů jejích složek k tomu stejnému bodu. Dle Obr. 1.11 moment síly \underline{F} k bodu 0 je $\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}$.



Obrázek 1.11

Moment síly \underline{F} k bodu 0 je $\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}$, protože

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z,$$

$$\underline{M}_0 = \underline{r} \times (\underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z),$$

$$\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}_x + \underline{r} \times \underline{F}_y + \underline{r} \times \underline{F}_z, \text{ a teda}$$

$$\underline{M}_0 = \underline{M}_{0Fx} + \underline{M}_{0Fy} + \underline{M}_{0Fz}.$$

1.5. Základní principy a axiomy statiky

Axiom je základní poučka, která se přijímá bez důkazů. Vychází obyčejně z experimentálních zkušeností.

Klasická mechanika je postavena na třech základních Newtonových zákonech:

- Zákon setrvačnosti (1. Newtonův zákon)
- Zákon síly (2. Newtonův zákon)
- Zákon akce a reakce (3. Newtonův zákon)

Statika se opírá o tyto základní axiomy:

1.5.1. Axiom setrvačnosti (1. Newtonův zákon)

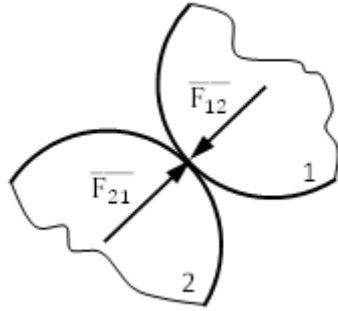
Těleso, které je v relativním klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, zůstává v tomto stavu, pokud na něj nepůsobí žádná vnější síla, nebo pokud na něj působí rovnovážná silová soustava.

1.5.2. Axiom akce a reakce (3. Newtonův zákon)

Každé akci odpovídá stejně velká, opačně orientovaná reakce. To značí, že účinek jednoho tělesa na druhé je stejně velký, jen opačně orientovaný než je účinek druhého tělesa na první (Obr. 1.12).

$$\underline{F}_{12} + \underline{F}_{21} = 0$$

$$\underline{F}_{12} = -\underline{F}_{21}$$



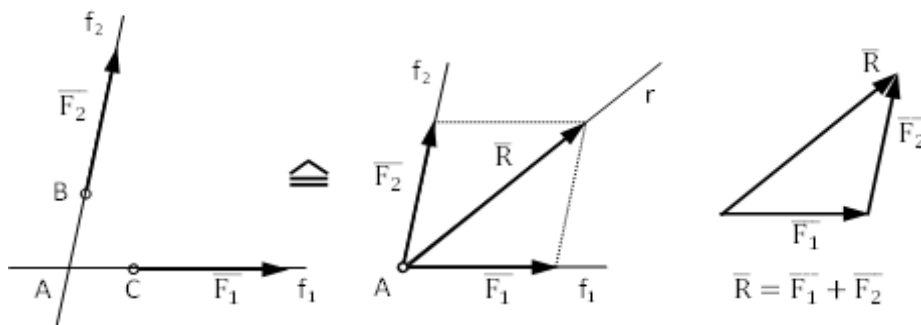
Obrázek 1.12

1.5.3. Axiom zachování účinku

Účinek dané silové soustavy se nezmění, pokud k ní přidáme nebo od ní odebereme rovnovážnou silovou soustavu.

1.5.4. Axiom vektorového skládání sil

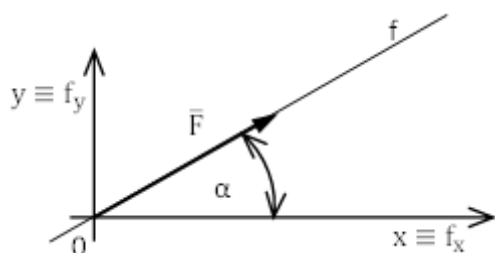
Výslednice \underline{R} dvou různoběžných sil \underline{F}_1 a \underline{F}_2 je rovna jejich vektorovému součtu $\underline{R} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2$ a prochází pořád průsečíkem jejich nositelek (Obr. 1.13).



Obrázek 1.13

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD 1

V počátku zvolené souřadnicové soustavy 0, x, y působí síla \underline{F} o velikosti $F = 6$ kN (Obr. 1.1.1). Směr nositelky síly \underline{F} je daný úhlem $\alpha = 30^\circ$. Rozložte sílu \underline{F} na její složky \underline{F}_x , \underline{F}_y , jejichž nositelky f_x , f_y jsou totožné se souřadnicovými osami x, y.



Obrázek 1.1.1

Řešení:

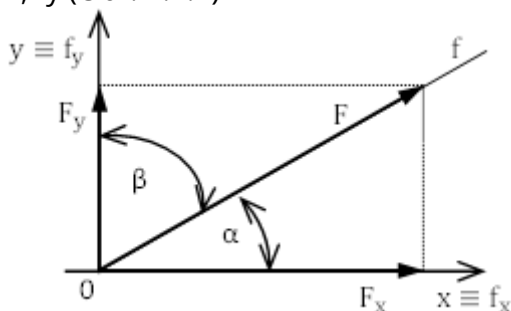
Rozklad síly \underline{F} , která leží na nositelce f , na její složky je vlastně jejím nahrazením ekvivalentní silovou soustavou sil $\underline{F}_x, \underline{F}_y$, ležící na nositelkách f_x, f_y . Pokud nositelky f_x, f_y jsou shodné se souřadnicovými osami x, y , potom síly $\underline{F}_x, \underline{F}_y$ jsou souřadnicovými složkami síly \underline{F} v dané souřadnicové soustavě. Při řešení vycházíme ze základní vektorové podmínky nahrazení (a), přičemž rozklad síly \underline{F} je možné vykonat více způsoby.

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y$$

(a)

Analytické řešení:

Řešení pomocí kosinusů směrových úhlů α, β , které svírá nositelka f síly \underline{F} s nositelkami f_x, f_y (Obr. 1.1.2)



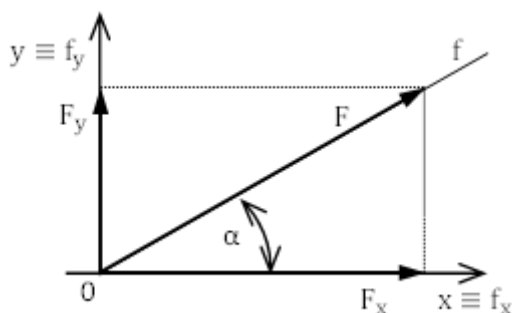
Obrázek 1.1.2

$$\begin{aligned} \beta &= 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ \\ F_x &= F \cos \alpha = 6 \cos 30^\circ = 5,196 \text{ kN} \\ F_y &= F \cos \beta = 6 \cos 60^\circ = 3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Druhým způsobem řešení je využití trigonometrických vztahů platících v pravouhlém trojúhelníku. Na základě Obr. 1.1.3 pro velikosti $\underline{F}, \underline{F}_x, \underline{F}_y$ platí

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F} \Rightarrow F_x = F \cos \alpha = 6 \cos 30^\circ = 5,196 \text{ kN}$$

$$\cos \cos \alpha = \frac{F}{F_y} \Rightarrow F_y = F \sin \sin \alpha = 6 \sin \sin 30^\circ = 3 \text{ kN}$$

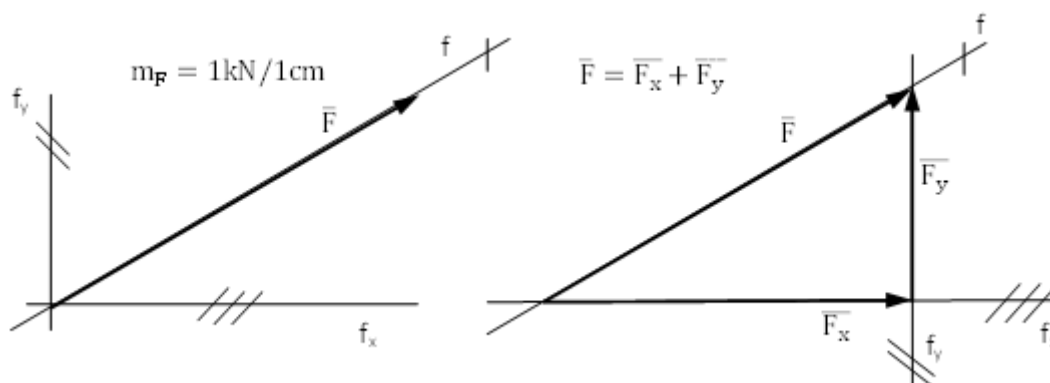


Obrázek 1.1.3

Grafické řešení: Sílu \underline{F} můžeme nahradit ekvivalentní soustavou sil $\underline{F_x}$, $\underline{F_y}$. Jde o grafické sečtení vektorů sil v tzv. silovém obrazci, kde síla \underline{F} jako výslednice dvou různoběžných sil se společným působištěm, zanesených do silového obrazce v libovolném pořadí, je orientovanou úsečkou vycházející z počátečního bodu první síly a vstupující do koncového bodu síly druhé.

Při samotném řešení vycházíme z Obr. 1.1.4a, ve kterém zakreslíme známou sílu \underline{F} a známé parametry hledaných sil. V případě sil $\underline{F_x}$, $\underline{F_y}$ známe jejich nositelky. V tomto obrázku je důležité správně zakreslit vektory jednotlivých sil (jejich směry). Silový obrazec (Obr. 1.1.4b) sestavíme následovně:

Na rovnoběžku s nositelkou f nanese velikost síly \underline{F} ve vhodně voleném měřítku sil m_F . Počátečním a koncovým bodem vektoru síly \underline{F} vedeme rovnoběžky s nositelkami f_x , f_y v libovolném pořadí. Dostaneme uzavřený trojúhelník, jehož odvěsny představují velikosti hledaných sil. Orientace těchto sil je v silovém obrazci opačná k orientaci jejich výslednice \underline{F} . Odměření délky grafických obrazů hledaných sil a jejich porovnáním s mírkou sil dostaneme skutečné velikosti těchto sil.



Obrázek 1.1.4

$$F_{xg} = 5,2\text{cm} \Rightarrow F_x = F_{xg}m_F = 5,2\text{kN}$$

$$F_{yg} = 3\text{cm} \Rightarrow F_y = F_{yg}m_F = 3\text{kN}$$

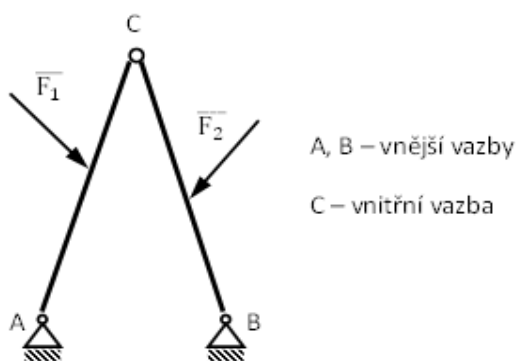
2. Pohyblivost a vazby hmotných objektů

2.1. Vazby a vazbová závislost

Silové soustavy působí vždy na určitý hmotný objekt (bod, těleso, soustava těles, soustava bodů). Hmotné objekty mohou být v rovině, nebo v prostoru umístěny volně, tzn. s neomezenou možností pohybu, nebo jsou vázány vazbami, kterými je možnost jejich pohybu omezená. V těchto vazbách vznikají síly – tzv. vazbové reakce.

Vazby, kterými se soustava upevňuje k nepohyblivému tělesu – tzv. rámu, jsou vnější vazby a reakce, které v nich vznikají, jsou vnější reakce (Obr. 2.1).

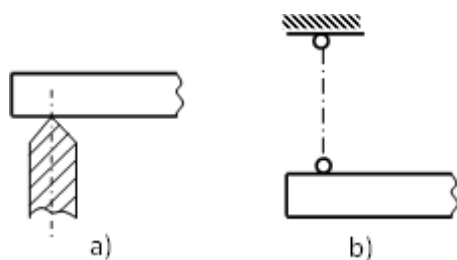
Pokud mechanickou soustavu (soustavu těles, bodů) tvoří několik objektů, vazby mezi nimi jsou vnitřní vazby a reakce v nich jsou vnitřní reakce.



Obrázek 2.1

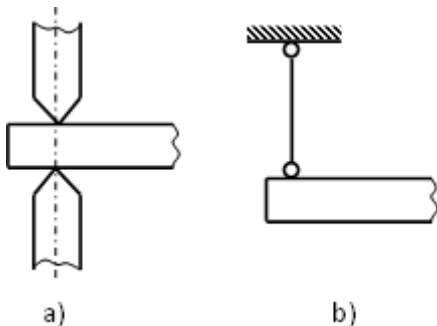
Vazby snižují pohyblivost hmotných objektů, přičemž jednotlivé typy vazeb mají možnost zabránit jenom určitým pohybům objektů. Pak vazbové reakce (sekundární síly) vyvolané po zatížení objektů vnějšími, zatěžujícími (primárními) silami, mohou působit jenom v tom směru, v kterém je vazba schopná zabránit pohybu.

Pokud vazba odebírá možnost pohybu jenom na jednu stranu, hovoříme o jednostranné – unilaterální vazbě (taky silové). Na Obr. 2.2a je příklad vazby jednostranným opřením, na Obr. 2.2b příklad vazby lanem.



Obrázek 2.2

Pokud vazba odebírá možnost pohybu na dvě strany, jde o vazbu dvoustrannou – bilaterální (nucenou). Na Obr. 2.3a je uveden příklad vazby oboustranným opřením, na Obr. 2.3b příklad vazby prutem.



Obrázek 2.3

2.2. Stupně volnosti pohybu a vazbová závislost hmotných objektů

Počet stupňů volnosti pohybu je počet všech nezávislých parametrů, kterými je jednoznačně určena poloha objektu v rovině nebo v prostoru. Vyjadřuje současně počet možných nezávislých pohybů, které daný objekt může v rovině, nebo v prostoru vykonat.

Pohyblivost, resp. nepohyblivost (tvarovou určitost) hmotného objektu posuzujeme pomocí jeho vazbové závislosti:

$$i = v - u$$

kde: i – je počet stupňů volnosti pohybu hmotného objektu

v – je počet stupňů volnosti pohybu volného, nevázaného objektu

u – je počet stupňů volnosti pohybu odebraných vazbami

2.3. Tvarová a statická určitost

Při posouzení tvarové určitosti, tzn. pohyblivosti, resp. nepohyblivosti hmotného objektu může mít vazbová závislost vyjádření:

$i = v - u = 0$, úloha je tvarově určitá. Vazby odebírají volnému objektu všechny možnosti pohybu, jeho poloha je přesně vymezená.

$i = v - u > 0$, úloha je tvarově neurčitá. Vazby odebírají méně stupňů volnosti, jako měl

volný objekt. Objekt má pořád možnost pohybu.

$i = v - u < 0$, úloha je tvarově přeuročena. Vazby odebírají volnému objektu víc stupňů volnosti, jako měl před vázáním, jeho poloha je přeuročena.

Analýzou statické určitosti posuzujeme, jestli máme k dispozici dostatečný počet podmínek, tj. podmínek rovnováhy na určení neznámých parametrů vazbových reakcí. Protože $v = r$; $u = n_p$, pak aj $i = i_s$, můžeme najednou posoudit tvarovou aj statickou určitost úlohy:

$$i = i_s = v - u = r - n_p \quad \begin{array}{l} > \text{ úloha tvarově neurčitá, staticky přeuročena} \\ = 0 \text{ úloha tvarově a staticky určitá} \\ < \text{ úloha tvarově přeuročena, staticky neurčitá} \end{array}$$

kde: i_s – stupeň statické určitosti
 r – počet nezávislých podmínek rovnováhy
 n_p – počet neznámých parametrů vazbových reakcí

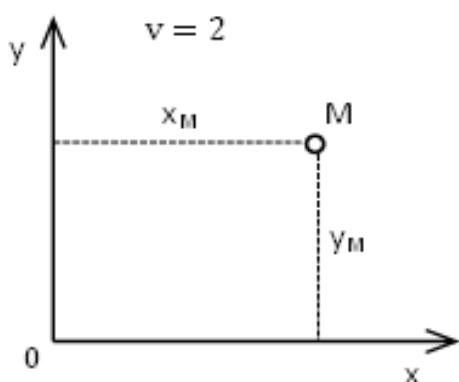
Staticky neurčitou úlohu nemůžeme řešit jenom metodami statiky. Takové úlohy řešíme v pružnosti a pevnosti, která určuje další, tzv. deformační podmínky.

3.Hmotný bod v rovině

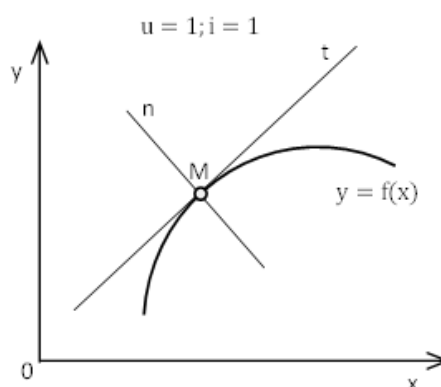
3.1. Stupně volnosti a vazbová závislost hmotného bodu v rovině

Polohu volného hmotného bodu M v rovině, určené souřadnicovou soustavou 0, x, y (Obr. 2.4) určují dvě nezávislé parametry x_M , y_M . Hmotný bod má proto dva stupně volnosti pohybu $v = 2$, tj. v rovině může vykonávat dva nezávislé pohyby (posuv v osy x a y) a jeho vazbová závislost je:

$$i = v - u = 2 - u \begin{matrix} > \\ = 0 \\ < \end{matrix}$$



Obrázek 2.4

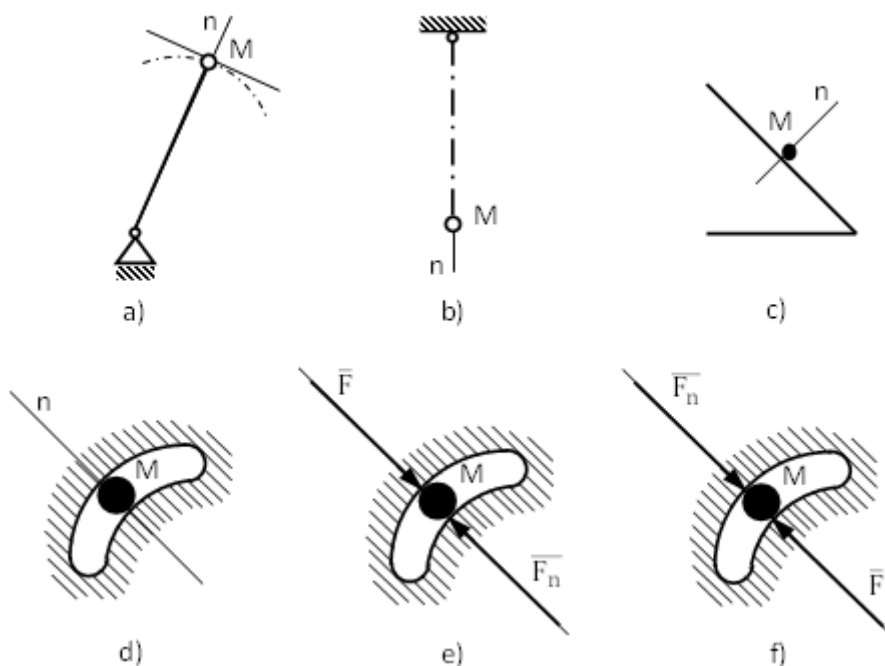


Obrázek 2.5

3.2. Vazby hmotného bodu v rovině

Hmotný bod v rovině vázaný ke křivce $y = f(x)$ má možnost pohybu pouze po tečně (Obr. 2.5). Ve směru normály má odebranou možnost pohybu, proto aj možná reakce vazby při zatížení hmotného bodu je normálová reakce. Poloha bodu je jednoznačně určena jedním údajem, např. souřadnicí x_M ; [$y_M = f(x_M)$], proto bod vázaný k rovinné křivce má jeden stupeň volnosti pohybu.

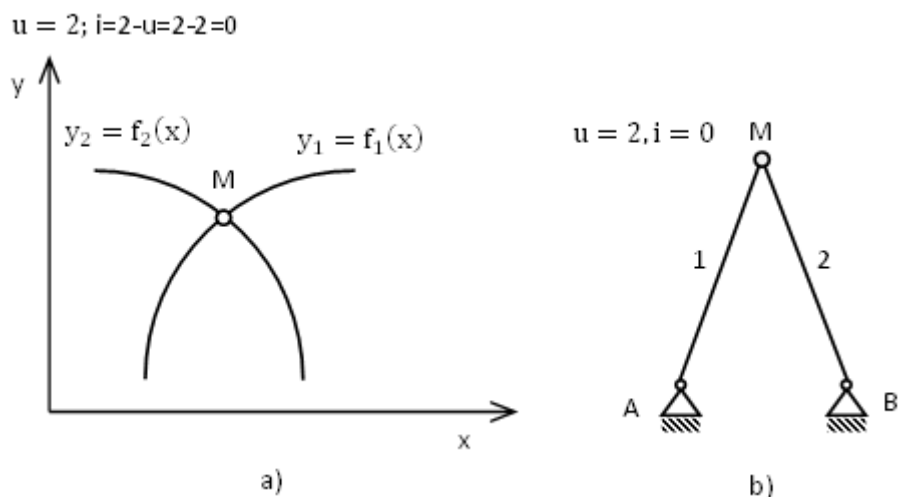
$$u = 1; i = 2 - u = 2 - 1 = 1$$



Obrázek 2.6

Realizace vázání bodu na jednu rovinnou křivku může být prutem (Obr. 2.6a), nebo drážkou, např. kámen v kulise (Obr. 2.6d). Tyhle vazby jsou oboustranné (nucené), může v nich vzniknout reakce na obě strany (Obr. 2.6e,f). Vazby lanem (Obr. 2.6b) a volným opřením (Obr. 2.6c) odebírají bodu v rovině taky jeden stupeň volnosti pohybu, ale jenom na jednu stranu – jedná se o vazby jednostranné (silové).

Bod vázaný na dvě křivky současně (Obr. 2.7a), má odebrané 2 stupně volnosti pohybu a nemá možnost pohybu. Takovou vazbu můžeme realizovat např. dvěma pruty (Obr. 2.7b).



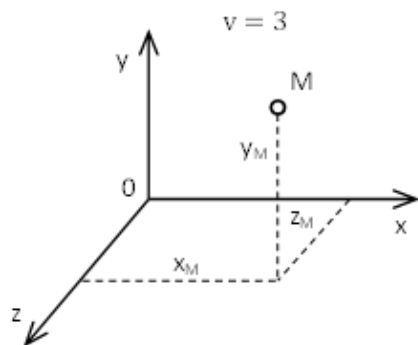
Obrázek 2.7

3.3. Hmotný bod v prostoru

3.3.1. Stupně volnosti a vazbová závislost hmotného bodu v prostoru

Poloha volného hmotného bodu M v prostoru je jednoznačně určena 3 parametry. V ortogonální souřadnicové soustavě 0, x, y, z sú to tři souřadnice: x_M, y_M, z_M (Obr. 2.8). Volný hmotný bod v prostoru má tři stupně volnosti pohybu $v = 3$, může vykonat tři nezávislé pohyby (posun ve směru osy x, y, z) a jeho vazbová závislost bude:

$$i = v - u = 3 - u \begin{matrix} > \\ = 0 \\ < \end{matrix}$$

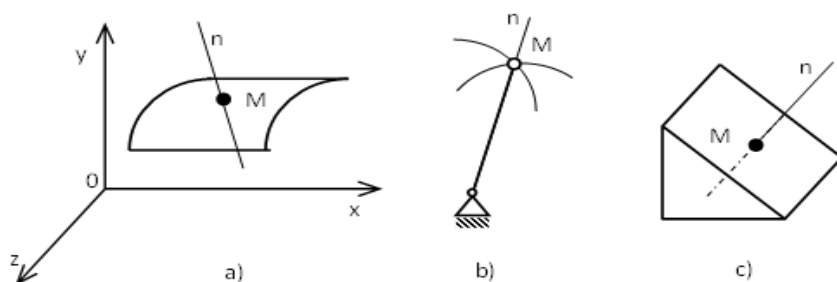


Obrázek 2.8

3.3.2. Vazby hmotného bodu v prostoru

Hmotný bod v prostoru můžeme vázat k ploše (Obr. 2.9a). Například prutem, nebo lanem ku kulové ploše (Obr.2.9b), uložení na rovinu (Obr. 2.9c) a pod. Tím mu odebereme jeden stupeň volnosti pohybu ve směru normály k ploše, resp. ve směru prutu.

$$u = 1, i = 3 - u = 3 - 1 = 2$$

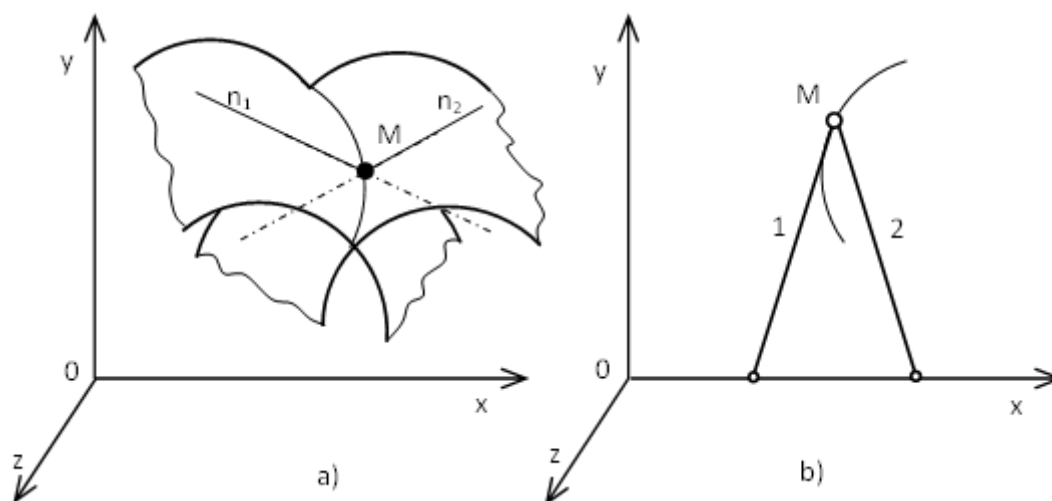


Obrázek 2.9

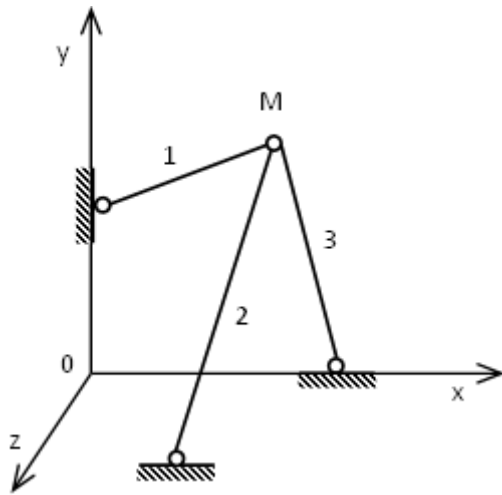
Pokud vážeme bod v prostoru ku dvěma plochám (Obr. 2.10a), odebereme mu tím dva stupně volnosti pohybu. Vážíme ho vlastně v jejich průsečnici, tj. k prostorové křivce. Realizaci téhle vazby je například vazba dvěma pruty (Obr. 2.10b).

$$u = 2, i = 3 - u = 3 - 2 = 1$$

Vázáním bodu ke třem plochám, které se v daném bodě přetínají, jsou mu odebrány všechny tři stupně volnosti. Takováto je například vazba třemi pruty, které však nesmí ležet v jedné rovině. Musejí vytvářet tzv. kozlík (Obr. 2.11).



Obrázek 2.10

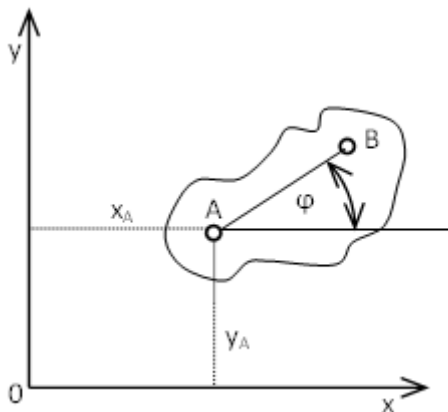


Obrázek 2.11

3.4. Těleso v rovině

3.4.1. Stupně volnosti tělesa v rovině

Polohu tělesa v rovině $(0, x, y)$ jednoznačně určují tři parametry. Můžou to být souřadnice bodu A (x_A, y_A) a úhel φ spojnice bodů A a B (Obr. 2.12), nebo dvě souřadnice bodu A a jedna souřadnice bodu B. Druhé souřadnice bodu B je daná tím, že vzdálenost \underline{AB} je konstantní.



Obrázek 2.12

Volné těleso v rovině má možnost vykonat tři nezávislé pohyby: posuvy ve směru souřadnicových os x a y a otočení kolem libovolného bodu, např. kolem bodu A, nebo B. Těleso v rovině má 3 stupně volnosti pohybu a jeho vazbová závislost je daná vztahem:

$$i = v - u = 3 - u \quad \begin{array}{l} > \\ = 0 \\ < \end{array}$$

3.4.2. Vazby tělesa v rovině

Jednotlivými vazbami můžeme tělesu odebrat jeden, dva, nebo tři stupně volnosti. V každé vazbě může vzniknout vazbová reakce, které vznik závisí od typu zatěžující silové soustavy.

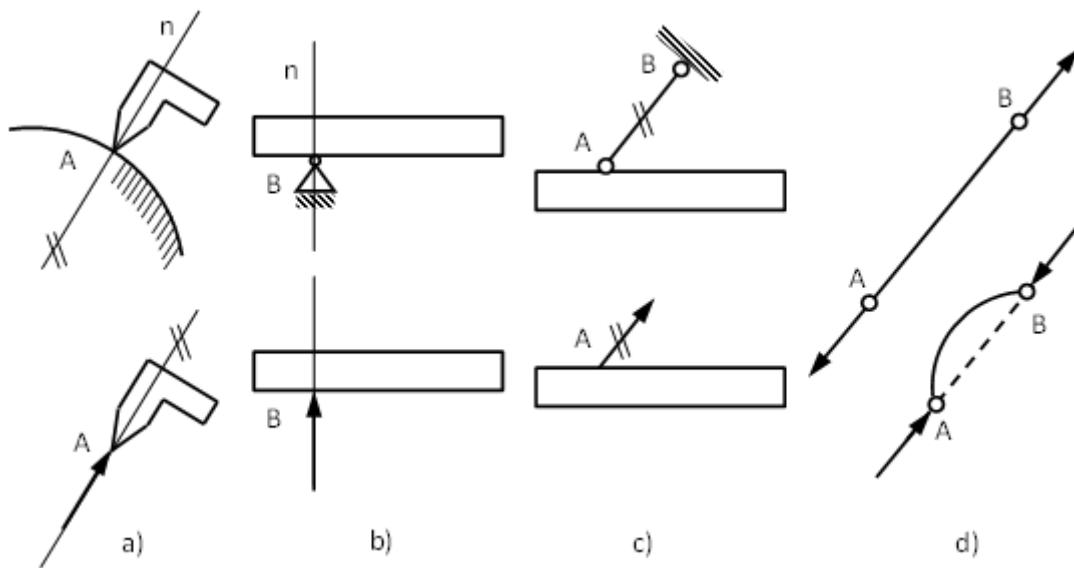
Vazby, které nechávají tělesu určitou pohyblivost zveme kinematické dvojice. Můžou to být kinematické dvojice první ($u = 1$), nebo druhé třídy ($u = 2$).

Vyšší, všeobecná, kinematická dvojice odebírá tělesu jeden stupeň volnosti ($u = 1$).

Ve vazbě opření se jedno těleso opírá hrotem o povrch druhého tělesa, přičemž povrchy těles pokládáme ze dokonale tuhé. Odebraná možnost pohybu a možná reakce jsou v společné normále (Obr. 2.13a).

Jeden stupeň volnosti pohybu odebereme tělesu i pomocí dalšího tělesa, tzv. binárního člena. Binární člen slouží jako sprostředkovatel vazby mezi rámem a tělesem, s kterým je vázaný rotační, nebo posuvní vaznou. Není zatížený žádnými vnějšími silami, působí na něj jenom reakce tělesa a rámu, které musí ležet na společné nositelce, musí být stejně velké a opačně orientované. Takové binární členy, používané jako vazby tělesa k rámu jsou:

- Posuvné lůžko (Obr. 2. 13b) – na jedné straně kloub, na druhé posuvní vedení – společná nositelka musí procházet přes kloub a současně být kolmá na vedení. Realizace vazby může být jednostranná nebo dvoustranná.
- Prut (Obr. 2.13c) – po obou stranách klouby, společná nositelka je v jejich spojnici. Vazba je oboustranná, prut může být tažený, ale i tlačný (Obr. 2.13d).

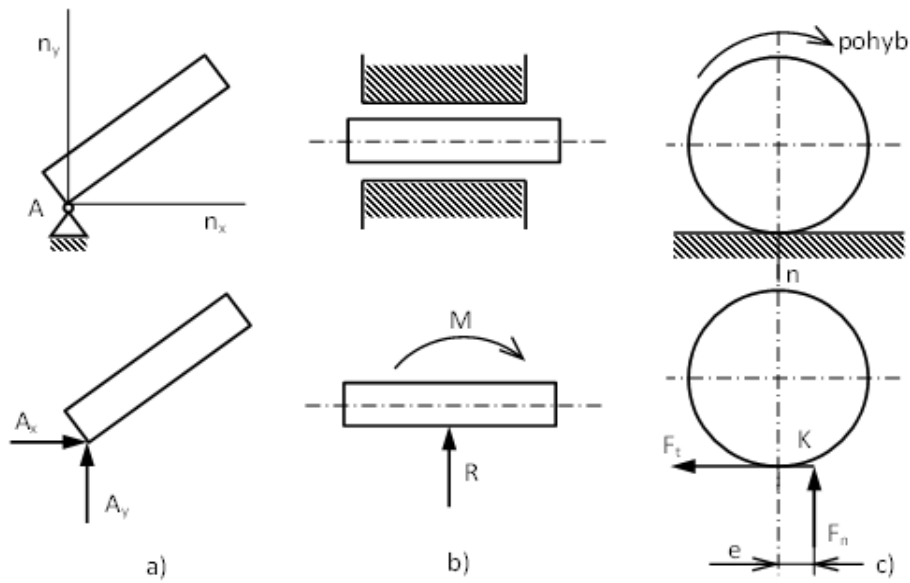


Obrázek 2.13

Nižší kinematické dvojice ($u = 2$) odebírají tělesu dva stupně volnosti pohybu. Patří k nim tyto **vazby**:

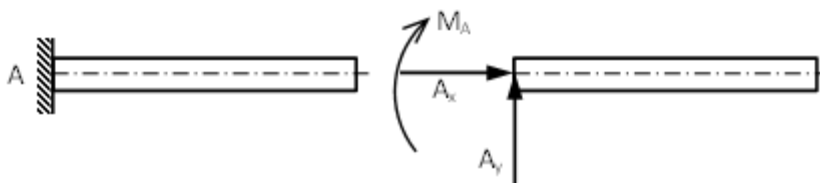
- **Rotační vazba** (kloub) odebírá dva posuvy ve směru os x a y . Neznámí jsou dva parametry, např. dvě složky reakce, nebo velikost a směr reakce. Vazba ponechává tělesu možnost otáčení kolem stálého středu otáčení A .
- **Posuvná vazba** (posuvné vedení) ponechává možnost posunu v jednom směru a odebírá možnost posunu ve směru na něj kolmém a možnost otočení v rovině. Neznámé parametry jsou velikost síly a momentu.
- **Válivá vazba** podmíněná třením mezi tělesy, odebírá možnost dvou posuvů – ve směru normály a tečny (reakce F_N a F_T), umožňuje válivý pohyb beze smyku, tj. možnost otočení tělesa kolem tzv. okamžitého středu otáčení.

$$u = 2, i = 3 - u = 3 - 2 = 1$$



Těleso spojíme napevno s jiným tělesem, např. s rámem tzv. vetknutím (Obr. 3.7), které odebere tělesu v rovině všechny tři stupně volnosti pohybu.

$$u = 3, i = 3 - u = 3 - 3 = 0$$

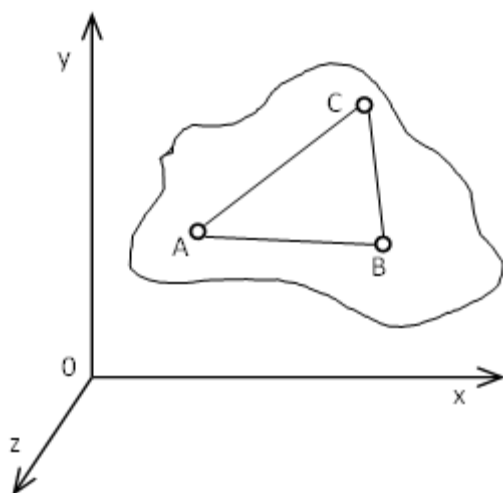


4. Těleso v prostoru

4.1. Stupně volnosti a vazbová závislost tělesa v prostoru

Poloha tělesa v prostoru $0, x, y, z$ je jednoznačně určena šesti parametry. Můžou to být 3 souřadnice bodu A, dvě souřadnice bodu B a jedna souřadnice bodu C (Obr.). Ostatní souřadnice bodů B a C jsou vázané stálými vzdálenostmi mezi body. Teda pro těleso v prostoru je $v = 6$. Volné těleso v prostoru má možnost vykonat šest nezávislých pohybů: posuvy ve směru os x, y a z a otočení kolem těchto tří souřadnicových os. Má 6 stupňů volnosti pohybu a jeho vazbová závislost je:

$$i = v - u = 6 - u \quad \begin{array}{l} > \\ = 0 \\ < \end{array}$$



4.2. Vazby tělesa v prostoru

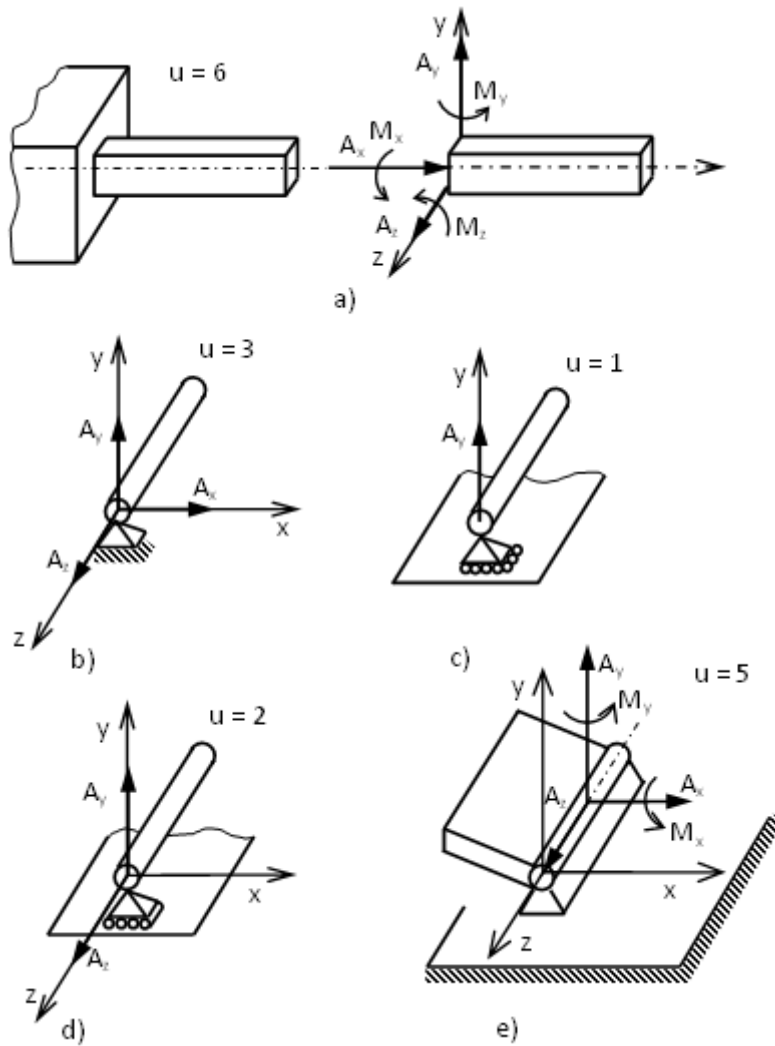
Dle typu vazby můžeme tělesu v prostoru jednou vazbou odebrat jeden až šest stupňů volnosti pohybu. Na Obr. jsou znázorněny jednotlivé typy vazeb tělesa v prostoru s vyznačenými reakcemi, které v nich po zatížení tělesa mohou vzniknout:

- Jeden stupeň volnosti pohybu ($u = 1$) odebírají tělesu v prostoru vazba posuvným lůžkem na kuličkách (Obr. c) a vazba prutem.
- Dva stupně volnosti pohybu ($u = 2$) odebírá tělesu v prostoru vazba posuvným lůžkem na válečcích (Obr. d).
- Tři stupně volnosti pohybu ($u = 3$) odebírá tělesu v prostoru vazba prostorovým

kloubem

(Obr. b)

- Pět stupňů volnosti pohybu ($u = 5$) odebrává vazba tzv. válcovým kloubem (Obr. e)
- Pevným spojením – vetknutím (Obr. a) odebereme tělesu všech šest stupňů volnosti pohybu ($u = 6$).



5. Centrální rovinné silové soustavy, rovnováha hmotného bodu

5.1. Přímková silová soustava – PSS

5.1.1. Nahrazení přímkové silové soustavy

Pokud na daný objekt všechny síly působí v jedné přímce, můžeme jich nahradit jednou silou \underline{R} (výslednicí), které nositelka je totožná s nositelkou sil. Ať os x s jednotkovým vektorem \underline{i} je nositelkou sil \underline{F}_i (Obr.).

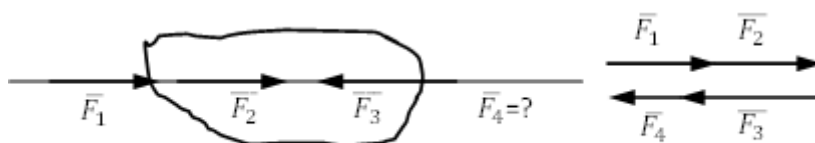


Pokud $\underline{R} = R \cdot \underline{i}$, $\underline{F}_i = F_i \cdot \underline{i}$, pak je $R \cdot \underline{i} = \sum F_i \cdot \underline{i}$. Velikost výslednice je pak rovná algebraickému součtu sil $\underline{R} = \sum \underline{F}_i$.

5.2. Rovnováha přímkové silové soustavy

Podmínkou rovnováhy PSS je $\underline{R} = \underline{0}$, čili $\sum \underline{F}_i = \underline{0}$.

Při grafickém řešení táhle rovnice značí uzavřený, tzv. silový obrazec (Obr.).



Při analytickém řešení je pak podmínka rovnováhy vyjádřena ve skalárním tvaru jedinou silovou podmínkou rovnováhy $R = 0$, čili $\sum F_i = 0$.

Rovnováhu PSS můžeme vyjádřit i použitím momentové podmínky k libovolnému bodu B (Obr.), který neleží na nositelce PSS.

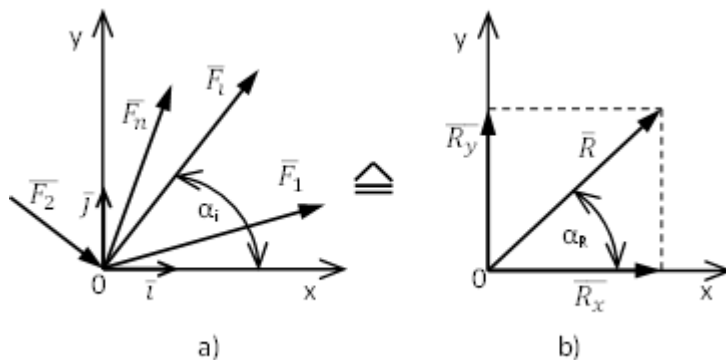
$$\sum M_{iB} = p \sum F_i = 0$$

Pro přímkovou silovou soustavu existuje pouze jediná nezávislá statická podmínka, tj. ze statických podmínek rovnováhy můžeme vypočítat pouze jeden neznámý parametr.

5.3. Centrální rovinná silová soustava – CRSS

5.3.1. Nahrazení centrální rovinné silové soustavy

Ať všechny sily \underline{F}_i dané silové soustavy přecházejí bodem 0 a leží v jedné rovině 0, x, y (Obr. a). Pak silovou soustavu možno nahradit výslednicí $\underline{R} = \underline{S}$, která prochází bodem 0 (Obr. b).



$$\underline{R} = \sum \underline{F}_i$$

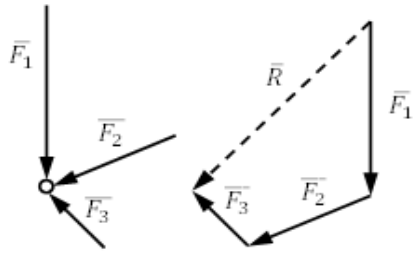
Po vyjádření vektorů sil pomocí jejich složek je $R_x \cdot \underline{i} + R_y \cdot \underline{j} = \sum F_{ix} \cdot \underline{i} + \sum F_{iy} \cdot \underline{j}$.

- Pokud vynásobíme rovnici $R_x \cdot \underline{i} + R_y \cdot \underline{j} = \sum F_{ix} \cdot \underline{i} + \sum F_{iy} \cdot \underline{j}$ skalárně jednotkovými vektory \underline{i} a \underline{j} , budou podmínky nahrazení CRSS vyjádřené dvěma skalárními (složkovými) rovnicemi: $R_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$ a $R_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \sin \alpha_i$. Velikost a směr výslednice bude pak $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$, $\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}$.

- Při grafickém řešení výslednice \underline{R} přechází působišťem sil 0 (Obr.) a je určena jich vektorovým součtem v tzv. silovém obrazci.

$$\underline{R} = \sum \underline{F}_i$$

$$\underline{R} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$



6. Rovnováha centrální rovinné silové soustavy

Podmínkou rovnováhy je $\underline{R} = \underline{0}$, čili $\sum \underline{F}_i = \underline{0}$.

- Při analytickém řešení můžeme napsat dvě nezávislé podmínky rovnováhy, a to buď dvě složkové rovnice, nebo složkové rovnice můžeme nahradit momentovými, využije Varignonovu vetu.

- alternativa složkové rovnice

$$R_x = 0, \text{ čili } \sum F_{ix} = 0$$

$$R_y = 0, \text{ čili } \sum F_{iy} = 0$$

- alternativa momentové rovnice

$$(\sum M_i)_A = 0$$

$$(\sum M_i)_B = 0$$

Body A, B a působiště sil 0 nesmějí ležet na jedné přímce!

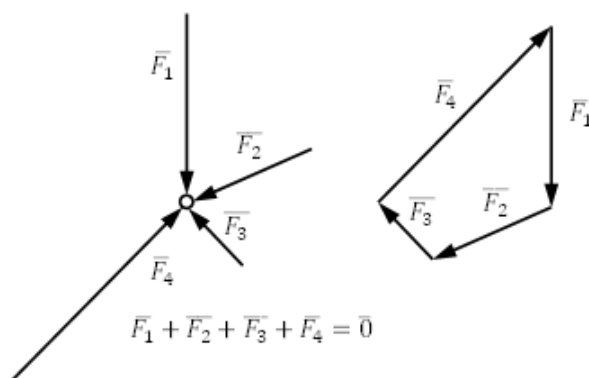
- alternativa: 1 složková a 1 momentová rovnice

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$(\sum M_i)_B = 0$$

- Bod B nesmí ležet na ose x! Spojnice působiště sil s bodem B nesmí být kolmá na os, do které síly promítáme.

- Při grafickém řešení (Obr.) vycházíme z podmínky uzavření silového obrazce s orientací sil za sebou, který odpovídá vektorové podmínce rovnováhy $\underline{R} = \underline{0}$.



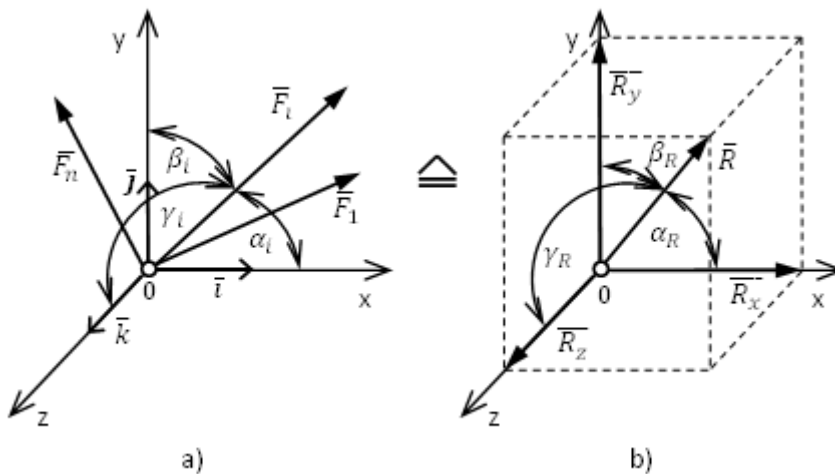
Pro CRSS můžeme napsat jen dvě statické podmínky, z kterých můžeme určit dva

neznámé parametry.

6.1. Centrální prostorová silová soustava – CPSS

6.1.1. Nahrazení centrální prostorové silové soustavy

V jednom bodě působí prostorová silová soustava n sil. Každá síla této silové soustavy ať je určena velikostí a směrem (Obr. a). Všechny síly je možné nahradit jedinou silou, jejich výslednicí \underline{R} (Obr. b), která musí procházet společným působištěm sil. Síla \underline{R} jako výslednice úplně nahradí danou CPSS.



V pravouhlý souřadnicové soustavě $0, x, y, z$ můžeme výslednici \underline{R} rozložit na složky

$$\underline{R} = \underline{R}_x + \underline{R}_y + \underline{R}_z$$

Podmínkami nahrazení CPSS jsou pak vztahy pro určení výslednice

$$\begin{aligned} R_x &= \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i \\ R_y &= \sum F_{iy} = \sum F_i \cos \beta_i \\ R_z &= \sum F_{iz} = \sum F_i \cos \gamma_i \end{aligned}$$

Velikost výslednice je pak $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$.

Poloha výslednice je určena: $\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}$, $\cos \beta_R = \frac{R_y}{R}$, $\left(\cos \gamma_R = \frac{R_z}{R}\right)$.

6.1.2. Rovnováha centrální prostorové silové soustavy

CPSS bude v rovnováze, když její výslednice \underline{R} bude rovná nule. (To značí, že její výsledný posuvný a otáčivý účinek k libovolnému bodu v prostoru je roven nule).

- **alternativa: složkové rovnice**

Aby výslednice byla nulová, musí být všechny její tři průměty rovné nule.

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$\sum F_{iz} = 0$$

- **alternativa: momentové rovnice**

Na základě Varignonovy věty můžeme vyjádřit podmínky rovnováhy i momentovými rovnicemi vzhledem k libovolným osám v prostoru.

$$\left(\sum M_i\right)_a = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_b = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_c = 0$$

Žádná z os a, b, c nesmí procházet společným působišťem silové soustavy a osy a, b, c se nesmějí protínat v jednom bodě anebo být vzájemně rovnoběžné.

- **alternativa: 2 momentové a 1 složková rovnice**

$$\left(\sum M_i\right)_a = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_b = 0$$

$$\sum F_{ix} = 0$$

Osy a, b nesmějí procházet působišťem silové soustavy. Nesmějí se protínat v rovině, která prochází přes působišť CPSS a je kolmá k ose x. Osy a, b nesmějí být vzájemně rovnoběžné, pokud jsou obě současně rovnoběžné se zmíněnou osou.

- **alternativa: 2 složkové a 1 momentová rovnice**

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

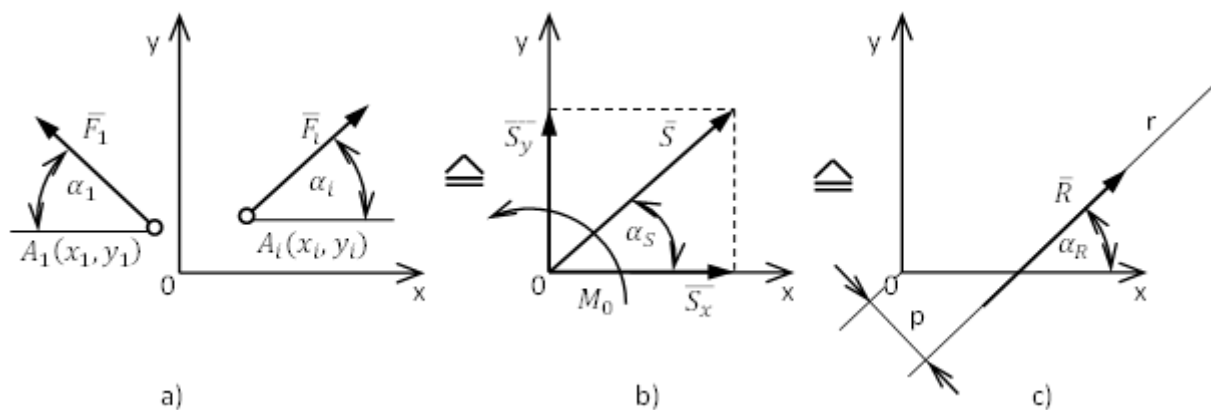
$$\left(\sum M_i\right)_a = 0$$

Osa a nesmí procházet přes působíště CPSS a nesmí být kolmá na rovinu určenou osami x, y .

Podobně jak v rovině, aj v prostoru při analytickém řešení vždy nejdřív předpokládáme orientaci neznámých sil. Pokud řešením dostaneme pro danou neznámou znaménko kladné, volili jsme správnou orientaci, pokud dostaneme znaménko záporné, skutečné orientace této síly je opačná, jako jsme předpokládali.

7. Všeobecné silové soustavy. Rovnoběžné silové soustavy. Rovnováha tělesa.

7.1. Všeobecná rovinná silová soustava. Analytické řešení VRSS



Všeobecnou rovinnou soustavu tvoří sily obecně rozptýlení v rovině (např. v rovině x, y na Obr. a). Účinek každé sily \underline{F} k počátku souřadnicové soustavy $0, x, y$ bude posuvný \underline{F}_i a otáčivý \underline{M}_{i0} . Výsledný posuvný a otáčivý účinek silové soustavy k počátku v bodě 0 bude

$$\underline{S} = \sum \underline{F}_i$$

$$\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0}$$

Můžou nastat případy:

$\underline{S} \neq \underline{0}, \underline{M}_0 \neq \underline{0}$ – soustava má výslednici \underline{R} – přechází mimo bodu 0

$\underline{S} \neq \underline{0}, \underline{M}_0 = \underline{0}$ – soustava má výslednici \underline{R} – přechází přes bod 0

$\underline{S} = \underline{0}, \underline{M}_0 \neq \underline{0}$ – soustavu nahradí silová dvojice v rovině x, y

$\underline{S} = \underline{0}, \underline{M}_0 = \underline{0}$ – podmínky rovnováhy VRSS

7.2. Nahrazení VRSS ve zvoleném počátku

Velikost momentu M_{i0} vyjádříme s použitím Varignonovy věty (Obr. a)

$$M_{i0} = x_i F_{iy} - y_i F_{ix}$$

VRSS ve zvoleném počátku é (Obr. b) nahradíme třemi skalárními rovnicemi:

$$\begin{aligned} S_x &= \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i \\ S_y &= \sum F_{iy} = \sum F_i \sin \alpha_i \\ M_0 &= \sum (x_i F_{iy} - y_i F_{ix}) = \sum F_i (x_i \sin \alpha_i - y_i \cos \alpha_i) = \sum F_i p_i \end{aligned}$$

7.3. Nahrazení VRSS výslednicí

\underline{S} a \underline{M}_0 nahradíme výslednicí \underline{R} , přičemž $R = S$ a $\alpha_S = \alpha_R$, posunutou od počátku 0 o vzdálenost p (Obr. c). Velikost výslednice určíme ze vztahu:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \text{ přičemž}$$

$$\begin{aligned} R_x &= S_x = \sum F_{ix} \\ R_y &= S_y = \sum F_{iy} \end{aligned}$$

Uhel α_R a polohu p určíme ze vztahů

$$\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}, p = \frac{M_0}{R}$$

7.4. Podmínky rovnováhy VRSS

Podmínky rovnováhy $\underline{S} = \underline{0}$, $\underline{M}_0 = \underline{0}$ určují tři skalární rovnice rovnováhy:

- alternativa: 2 složkové rovnice, 1 momentová

$$\begin{aligned} R_x &= 0, & \sum F_{ix} &= 0 \\ R_y &= 0, & \Rightarrow \sum F_{iy} &= 0 \\ M_0 &= 0, & \sum M_{i0} &= 0 \end{aligned}$$

- alternativa: 3 momentové rovnice

$$\begin{aligned} (\sum M_i)_A &= 0 \\ (\sum M_i)_B &= 0 \\ (\sum M_i)_C &= 0 \end{aligned}$$

Body A, B, C nesmějí ležet na jedné přímce – mohla by na ní působit výslednice a přitom podmínky rovnováhy by byli splněné.

- alternativa: 2 momentové a 1 složková rovnice

$$\begin{aligned} (\sum M_i)_A &= 0 \\ (\sum M_i)_B &= 0 \\ \sum F_{ix} &= 0 \end{aligned}$$

Spojnice bodů A, B nesmí být kolmá na os x (na os, ve směru které píšeme silovou rovnici) – mohla by ta této přímce být výslednice a přitom by platili podmínky rovnováhy.

8. Všeobecná prostorová silová soustava

Všeobecnou prostorovou silovou soustavu tvoří sily libovolně rozložené v prostoru. Je to nejvšeobecnější typ silové soustavy, pro kterou platí:

$$\underline{S} \neq \underline{0}, \underline{M}_0 \neq \underline{0}, \underline{S} \cdot \underline{M}_0 \neq 0$$

Jestliže ve všeobecnosti \underline{S} a \underline{M}_0 nejsou vzájemně kolmé, nemůžeme VPSS nahradit jednou výslednicí.

8.1. Nahrazení VPSS ve zvoleném počátku

Mějme danou VPSS ve zvoleném počátku 0, (Obr. a). Účinek i-tej síly v bodu 0 je

- posuvný \underline{F}_i
- otáčivý $\underline{M}_{i0} = \underline{r}_i \times \underline{F}_i$

Výsledný účinek od všech sil dané silové soustavy je v bodě 0

- posuvný (Obr. b) $\underline{S} = \sum \underline{F}_i$
- otáčivý (Obr. c) $\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0}$

$$\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0} = \sum \underline{r}_i \times \underline{F}_i = \sum \begin{vmatrix} \underline{i} & \underline{j} & \underline{k} \\ x_i & y_i & z_i \\ F_{ix} & F_{iy} & F_{iz} \end{vmatrix}$$

Velikost a směr posuvného a otáčivého účinku

$$\underline{S} = S_x \cdot \underline{i} + S_y \cdot \underline{j} + S_z \cdot \underline{k}$$

$$\underline{M}_0 = M_x \cdot \underline{i} + M_y \cdot \underline{j} + M_z \cdot \underline{k}$$

Účinek VPSS vzhledem k bodu 0 je vyjádřený šesti rovnicemi

$$S_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$$

$$S_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \cos \beta_i$$

$$S_z = \sum F_{iz} = \sum F_i \cos \gamma_i$$

$$M_x = \sum M_{ix} = \sum (y_i F_{iz} - z_i F_{iy})$$

$$M_y = \sum M_{iy} = \sum (z_i F_{ix} - x_i F_{iz})$$

$$M_z = \sum M_{iz} = \sum (x_i F_{iy} - y_i F_{ix})$$

Velikost a poloha výsledného posuvného účinku \underline{S} (obr. d) se určí vztahy:

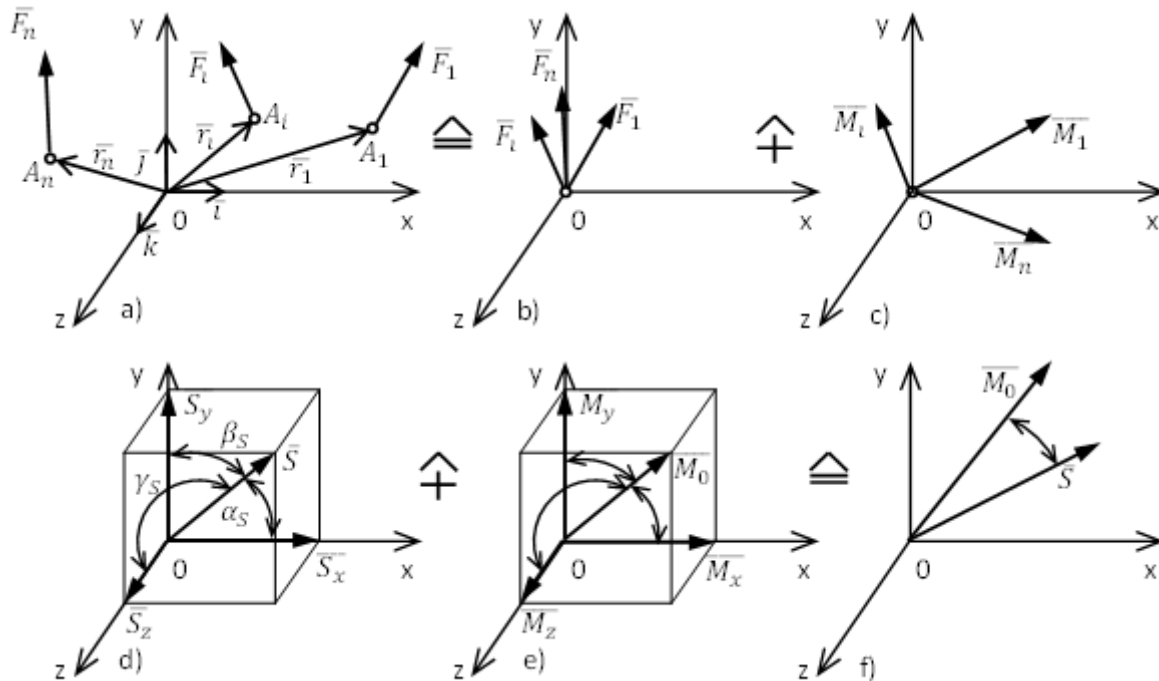
$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$$

$$\cos \alpha_S = \frac{S_x}{S}, \cos \beta_S = \frac{S_y}{S}, \cos \gamma_S = \frac{S_z}{S}$$

Velikost a poloha výsledného otáčivého účinku \underline{M}_0 (Obr. e) je:

$$M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

$$\cos \cos \alpha_M = \frac{M_x}{M_0}, \cos \cos \beta_M = \frac{M_y}{M_0}, \left(\cos \cos \gamma_M = \frac{M_z}{M_0} \right)$$



Uhel φ (Obr. f) můžeme určit pomocí skalárního součinu
 $\underline{S} \cdot \underline{M}_0 = S M_0 \cos \cos \varphi$

Odkud

$$\cos \cos \varphi = \frac{\underline{S} \cdot \underline{M}_0}{S M_0}$$

8.2. Podmínky rovnováhy VPSS

Podmínkami rovnováhy všeobecné prostorové silové soustavy jsou $\underline{S} = 0$, $\underline{M}_0 = 0$, tj.

$$\sum \underline{F}_i = \underline{0}, \quad \sum \underline{M}_{i0} = \underline{0}$$

V skalárním tvaru je to šest rovnic rovnováhy:

- alternativa: tři silové a tři momentové rovnice napsané výhodně k souřadnicovým osám

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\begin{aligned}\Sigma F_{iy} &= 0 \\ \Sigma F_{iz} &= 0 \\ \Sigma M_{ix} &= 0 \\ \Sigma M_{iy} &= 0 \\ \Sigma M_{iz} &= 0\end{aligned}$$

Silové dvojice můžeme obdobně, jako v předchozích kapitolách, nahradit momentovými rovnicemi k jiným libovolným osám, ale momentové rovnice nemůžeme nahradit dalšími silovými rovnicemi. Musíme mít minimálně tři momentové rovnice k třem různým libovolným osám. Takto dostaneme další alternativy vyjádření podmínek rovnováhy.

- alternativa: 2 silové a 4 momentové rovnice
- alternativa: 1 silová a 5 momentových rovnic
- alternativa: 6 momentových rovnic k osám o_1 až o_6

Osy o_1 až o_6 (nemusejí být mezi nimi osy x , y , z) nesmějí být vzájemně rovnoběžné a nesmějí být protnutelné jednou přímkou.

9. Statická analýza soustav těles

Soustavou těles nazýváme konstrukci pozůstávající alespoň z dvou těles kromě rámu. Jednotlivá tělesa soustavy jsou vázaná vzájemně mezi sebou, jako i k rámu. Vazby, kterými jsou jednotlivé tělesa vázané k rámu se nazývají vnější vazby, vazby mezi tělesy navzájem jsou vazby vnitřní. Dle typu vzájemných vazeb vznikají soustavy s různým rozsahem pohyblivosti a různým charakterem pohybu jednotlivých těles.

Dle charakteristických vlastností dělíme soustavy těles na rovinné a prostorové, nepohyblivé a pohyblivé, tvarově a staticky určité a neurčité.

9.1. Tvarová a statická určitost rovinných soustav těles

Tvarovou určitost (pohyblivost) soustavy těles posuzujeme pomocí vazbové závislosti. Postup je analogický jako při určování pohyblivosti tělesa.

Vzájemné spojení dvou těles nazýváme kinematickou dvojicí. V případě rovinných soustav těles rozdělujeme kinematické dvojice dle charakteru konstrukce na rotační, posuvní a válivé, které odebírají soustavě po dvou stupních volnosti pohybu a všeobecné, které odebírají soustavě jeden stupeň volnosti pohybu.

Ať se soustava skládá z n těles, z kterých jedno jsme upravili, tj. vytvořili jsme z něho rám. Před spojením mají tato tělesa

$$v = 3(n - 1) = 3n$$

stupňů volnosti pohybu, kde $n = n - 1$ je počet těles kromě rámu. Pokud soustava kromě „ n “ těles obsahuje „ m “ hmotných bodů, počet stupňů volnosti pohybu takové soustavy před vázáním je

$$v = 2m + 3n.$$

Celkovou tvarovou určitost soustavy posuzujeme dle vztahu vazbové závislosti

$$i = v - u_{\text{vnitřní}} - u_{\text{vnější}}$$

- $u_{\text{vnitřní}}$ – počet stupňů volnosti odebraných vnitřními vazbami

- $u_{\text{vnější}}$ – počet stupňů volnosti odebraných vnějšími vazbami.

Při hlubším rozboru tvarové určitosti soustavy posuzujeme kromě celkové tvarové určitosti aj tvarovou určitost vnitřní a vnější, přičemž můžou nastat případy:

- Celkovou tvarovou určitost posuzujeme s ohledem na vnější a vnitřní vazby, kde výsledný počet stupňů volnosti pohybu soustavy je daný vztahem

$$i_c = v - u_{\text{vnitřní}} - u_{\text{vnější}}$$

\square	celkově tvarově neurčitá
$= 0$	celkově tvarově určitá
$<$	celkově tvarově přeuročena

- Při zkoumání vnitřní tvarové určitosti bereme v úvahu jenom vnitřní vazby, tj. vazby mezi tělesy tvořícími soustavu. Určujeme ji vazbovou závislostí

$>$	vnitřně tvarově neurčitá
$= 0$	vnitřně tvarově určitá
$<$	vnitřně tvarově přeuročena

$$i_c = v - u_{\text{vnitřní}} - v_{ST}$$

kde: $u_{\text{vnitřní}}$ - počet stupňů volnosti odebraných vnitřními vazbami
 v_{ST} - počet stupňů pohybu soustavy, uvažované jako jedno tuhé těleso, vzhledem na rám. Pro soustavu uvažovanou jako jedno, tzv. těleso v rovině $v_{ST} = 3$.

- Při posuzování vnější tvarové určitosti bereme v úvahu len vnější vazby, kterými je soustava vázaná k rámu a soustavu považujeme za jedno tuhé těleso. Určujeme ji dle vazbové závislosti

$>$	zvenčí tvarově neurčitá
$= 0$	zvenčí tvarově určitá
$<$	zvenčí tvarově přeuročena

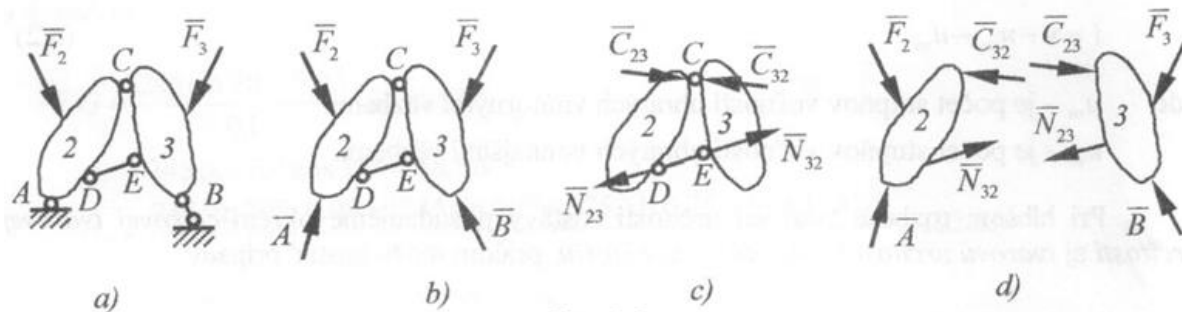
$$i_c = v_{ST} - u_{\text{vnější}}$$

Soustava, která je celkově tvarově určitá, může být vnitřně tvarově neurčitá, např. k-krát, ale současně musí být zvenčí tvarově k-krát přeuročena. Pozor, opačně to neplatí, protože při vnější tvarové neurčitosti se soustava vzhledem na rám pohybovat.

9.2. Princip statického řešení soustav těles

Při statickém řešení soustav těles vycházíme z věty o rovnováze sil. O silách, které působí na soustavu těles (Obr. a) v její rovnovážném stavu, můžeme konstatovat této skutečnosti:

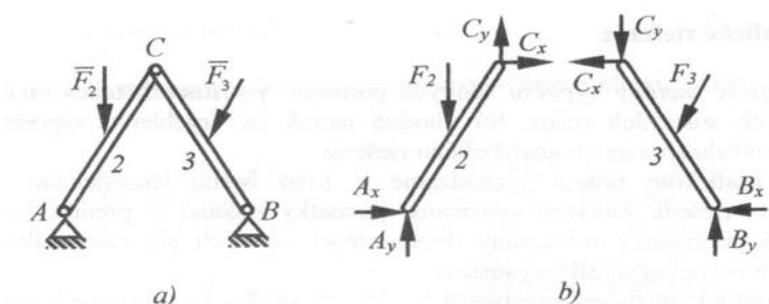
- Všechny vnější síly (zatěžující i reakce) působící na soustavové těleso, jsou v rovnováze (Obr. b)
- Všechny vnitřní síly jsou vzhledem na axiomu akce a reakce osobitě v každé vazbě a a současně ve všech vazbách vzájemně ve formální rovnováze (Obr. c).
- Jednotlivé silové soustavy pozůstávající vždy ze všech sil působících na každé těleso osobitě, nebo libovolnou skupinu těles, jsou v rovnováze (Obr. d)



9.3. Analytické (výpočetní) řešení soustav těles

Základní metodou statického řešení soustav je metoda uvolnění. Podstata metody spočívá v uvolnění jednotlivých členů soustavy (skupiny členů nebo celé soustavy) a sestavení odpovídajících podmínek rovnováhy. Pokud se soustava skládá z „ n “ těles bez rámu a „ m “ hmotných bodů, pak pro její rovnováhu máme k dispozici $r = 3n + 2m$ nezávislých rovnic rovnováhy, z kterých při staticky určité úloze můžeme vypočítat stejný počet neznámých parametrů reakcí a přidavných sil.

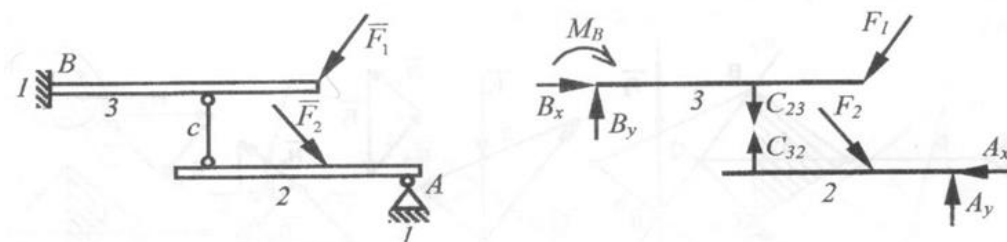
Pro vnější síly působící na soustavu těles, jako i pro síly působící na určitou skupinu těles soustavy máme k dispozici tři podmínky rovnováhy. Například pro výpočet reakcí $A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y$ použijeme tři a tři rovnovážní rovnice pro uvolněná tělesa 2 a 3 (Obr. b) soustavy těles z Obr. a.



S ohledem na řešitelnost soustavy těles dělíme soustavy na jednoduché a složité.

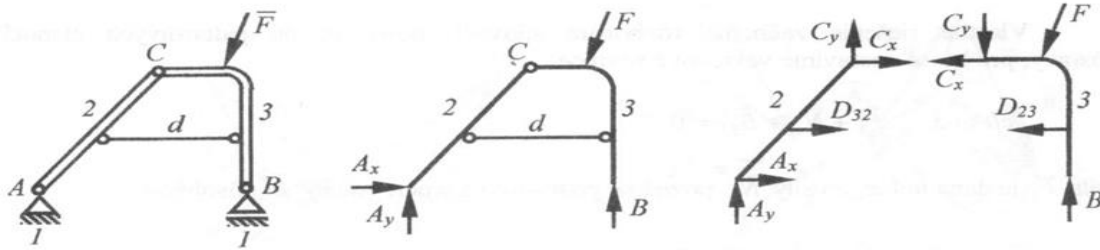
Jednoduché soustavy

- Při $i_{vnější} \neq 0$ se dají vyřešit postupným řešením rovnováhy jej členů (Obr.).



Z rovnováhy tělesa 2 určíme $A_x, A_y, C_{32} = C_{23}$; z rovnováhy tělesa 3 B_x, B_y, M_B .

- Při $i_{vnější} = 0$ se soustava dá vyřešit nejprve jako celek a pak následně můžeme postupně řešit rovnováhy jednotlivých jej členů (Obr.)



- Mezi jednoduché patří i soustavy obsahující trojkloubový nosník.
 - Složitější soustavy jsou takové, které se nedají přímo řešit a neobsahují trojkloubový nosník

10. Rovinné prutové soustavy

Osobitým případem nepohyblivých soustav těles jsou tzv. příhradové konstrukce, s kterými se střetáváme v různých stavebních konstrukcích, jako jsou mosty, stožáre, jeřáby, střešní konstrukce.

Dle prostorového uspořádání konstrukce a typu silové soustavy vnějších sil dělíme příhradové konstrukce na prostorové a rovinné.

Zatížení příhradových konstrukcí může být soustředěné v jednom místě (břemeno zdvíhané jeřábem) nebo spojitě (tíž vozovky, vlastní tíž konstrukce). V některých případech je působení vnějšího zatížení trvalé, jindy se mění s časem.

Pro řešení příhradových konstrukcí je potřebné vytvořit vhodný statický výpočetní model, který vznikne na základě těchto zjednodušujících předpokladů:

- Prvky tvořící příhradovou konstrukci můžeme považovat za jednorozměrná tělesa upevněná ke konstrukci dvěma vazbami. Jsou to pak binární členy.
- Spojení všech binárních členů považujeme za kloubové. Je to možné i v případě nýtovaných, resp. svářených styčnic, pokud spojované prvky nejsou moc krátké. Podmínkou je vzájemné uspořádání prvků v jednotlivých uzlech tak, aby se těžiskové osy všech prvků spojených v jednom uzlu protínaly v jednom bodě, který se nazývá styčný bod.
- Se zatížením konstrukce uvažujeme jenom v styčných bodech. Spojité zatížení prvků konstrukce redukuje do dvou styčnic, kterými je prvek upevněn ke konstrukci.

Takhle vytvořený výpočetní model nazýváme prutová soustava. jde o soustavu n nehmotných, nezatížených těles – prutů, které jsou vzájemně spojené v kloubech, tzv. styčnicích a v těchto styčnicích jsou zatížené silami. Při takovém zatížení v prutech vznikají jenom osové síly (tah nebo tlak). Prutové soustavy můžou být prostorové nebo rovinné.

10.1. Tvarová určitost prutových soustav

Prutovou soustavu výhodně posuzujeme jako soustavu hmotných bodů vzájemně vázaných pruty. Prutová soustava může sama o sobě tvořit celek, který nazýváme prutovým tělesem.

Tvarovou určitost prutového tělesa, teda vnější tvarovou určitost rovinné prutové soustavy, budeme posuzovat dle vazbové závislosti platné pro těleso v rovině.

$$i_{\text{vnější}} = 3 - u_{\text{vnější}}$$

Vnitřní tvarovou určitost prutové soustavy posuzujeme dle vztahu

$$i_{\text{vnitřní}} = 2s - p \quad \begin{array}{l} > \text{ vnitřně tvarově neurčitá} \\ = 3 \text{ vnitřně tvarově určitá} \\ < \text{ vnitřně tvarově přeuročená} \end{array}$$

kde:

s – počet styčnicků

p – počet prutů

3 – u obou vztahů počet stupňů volnosti prutového tělesa

2 – počet stupňů volnosti pohybu volného hmotného bodu v rovině

Celkovou tvarovou určitost prutové soustavy

$i_c = 2s - p - u_{\text{vor}}$, pokud $i_c = 0$ – soustava je celkově tvarovo a staticky určitá

10.2. Statické řešení prutových soustav

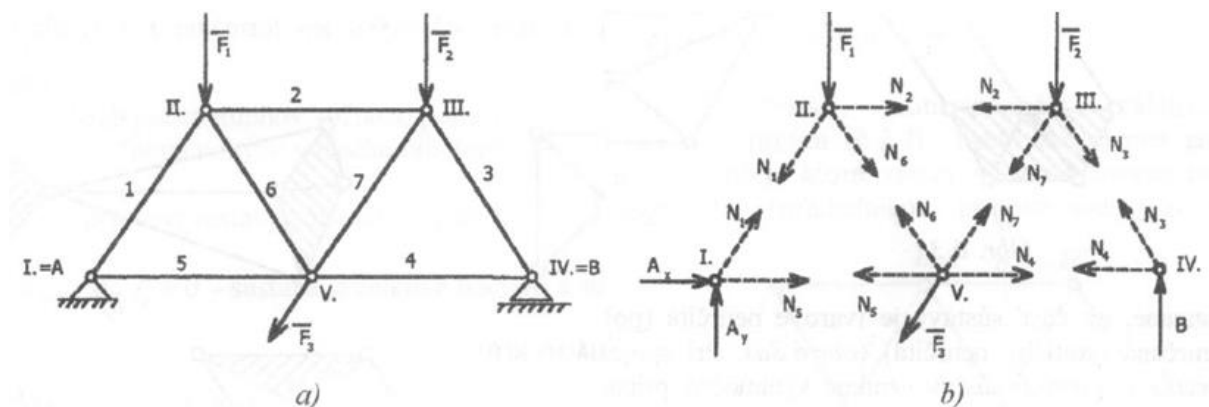
Úlohou statického řešení prutových soustav je určit velikosti osových sil v prutech, jejich orientaci a neznámé parametry vnějších reakcí v závislosti na vnějších zatěžujících silových účincích. Úlohy je možné řešit více metodami.

- Rovnováhu centrálních silových soustav, které působí na jednotlivé styčnický (metoda styčných bodů)
- Rovnováha sil působících na část prutové soustavy (průsečná metoda)

10.3. Metoda styčných bodů

Princip metody spočívá v tom, že se řeší rovnováha všech sil působících na každý styčník osobitě. Při postupném uvolňování všech styčniců se pro každý styčník sestaví podmínky rovnováhy centrální silové soustavy, která na něj působí.

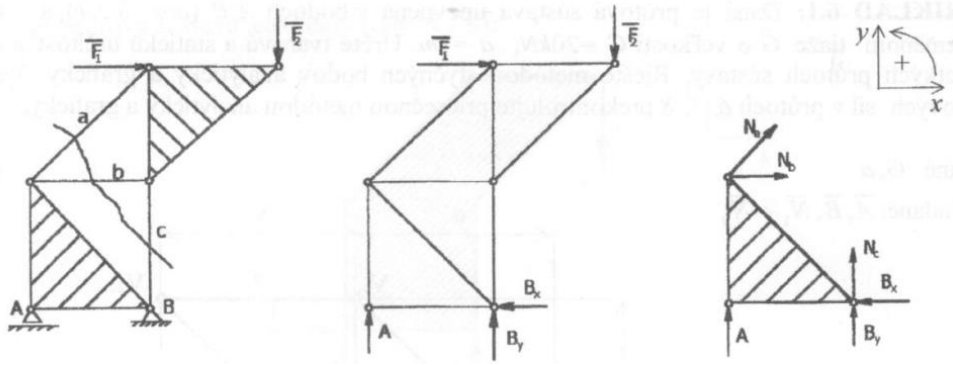
V případě, že soustava jako celek (soustavové těleso) je tvarově a staticky určitá, řešení rovnováhy vnějších sil (sloužících k výpočtu vnějších reakcí) ulehčí celkové řešení rovnovážných rovnic pro jednotlivé styčníky.



10.4. Metoda průsečná

Při řešení osových sil průsečnou metodou vycházíme z předpokladu: pokud je prutová soustava v rovnováze, pak aj sily působící na každou odříznutou část prutové soustavy musí být v rovnováze. Rovnováhu této části můžeme řešit rovnováhu tělesa v rovině, resp. v prostoru. Pro těleso v rovině (prostoru) můžeme napsat 3 (6) nezávislých statických podmínek rovnováhy, z kterých víme určit 3 (6) neznámých osových sil. Z toho vyplývá, že při řešení touto metodou je potřebné rozdělit prutovou soustavu myšleným řezem přes tři (v prostoru šest) pruty, které se neprotínají je jednom bodě.

Z rovnováhy jedné z těchto částí jako prutového tělesa vypočteme osově sily v přetnutých prutech. Pokud na každou z odřezaných částí působí kromě zatěžujících sil aj reakce, při použití průsečné metody je nutné tyto reakce nejprve určit z řešení rovnováhy prutového tělesa.



11. Těžiště hmotných a geometrických útvarů

Střediskem rovnoběžné silové soustavy, které síly jsou vázané k působišťm, se zve bod, přes který prochází výslednice této silové soustavy při otočení soustavy o libovolný uhel. V případě, že rovnoběžnými silami jsou síly zemské přitažlivosti (síly tíže jednotlivých částí tělesa), středisko této silové soustavy se zve těžiště tělesa (střeliště hmotnosti, hmotné centrum).

Polohu těžiště můžeme určovat analyticky, graficky a experimentálně. U analytického a grafického řešení je předpokladem znalost rozložení hmotnosti v prostoru tělesa, přičemž grafické řešení se omezuje převážně na rovinné nebo symetrické prostorové tělesa. Experimentální určení polohy těžiště se dělá především při tvarově složitých a nehomogenních tělesech.

11.1. Analytické určení polohy těžiště

Na objemový element dV tělesa měrné hmotnosti ρ působí elementární síla $dG = dG = \rho dV g$, kde g je velikost gravitačního zrychlení. Pro x -ovou souřadnici těžiště platí vztah

$$x_T = \frac{\int_V x \rho dV g}{\int_V \rho dV g} = \frac{\int_V x \rho dV}{\int_V \rho dV}$$

přičemž integrujeme v celém objemu V tělesa. Obdobné vztahy získáme pro y_T a z_T . K výpočtu integrálů musíme znát rozložení hustoty ρ v tělese, tj. funkci $\rho = \rho(x, y, z)$.

V případě homogenního útvaru je hustota, resp. měrná tíž tělesa konstantní. Středisko hmoty je v tomto případě totožné s těžištěm geometrického útvaru. Z toho vyplývá, že poloha těžiště homogenního tělesa není závislá od jeho tíže, ale je dané geometrickým tvarem tělesa.

$$x_T = \frac{\int_V x dV}{V}, \quad y_T = \frac{\int_V y dV}{V}, \quad z_T = \frac{\int_V z dV}{V}$$

V případě homogenního tělesa konstantní tloušťky t (skořepina) je $dV = t dS$, kde dS je element plochy a souřadnice těžiště takého tělesa jsou

$$x_T = \frac{\int_S x dS}{S}, \quad y_T = \frac{\int_S y dS}{S}, \quad z_T = \frac{\int_S z dS}{S}$$

kde S je celková plocha tělesa, $\int_S x dS$ – statický moment tělesa k rovině yz .

V případě homogenního tělesa s konstantní průřezovou plochou S po celé délce l je $dV = Sdl$ a souřadnice těžiště takého tělesa jsou

$$x_T = \frac{\int_l x dl}{l}, \quad y_T = \frac{\int_l y dl}{l}, \quad z_T = \frac{\int_l z dl}{l}$$

kde l je element jeho délky.

Pokud se dá těleso rozdělit na konečný počet částí, kterých těžiště známe, nebo víme určit, pak těžiště takového složeného homogenního tělesa určíme dle vztahů:

$$x_T = \frac{\sum x_i V_i}{\sum V_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i V_i}{\sum V_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i V_i}{\sum V_i}$$

pro skořepinu v prostoru

$$x_T = \frac{\sum x_i S_i}{\sum S_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i S_i}{\sum S_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i S_i}{\sum S_i}$$

pro těleso konstantní průřezové plochy, resp. pro čáru v prostoru

$$x_T = \frac{\sum x_i l_i}{\sum l_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i l_i}{\sum l_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i l_i}{\sum l_i}$$

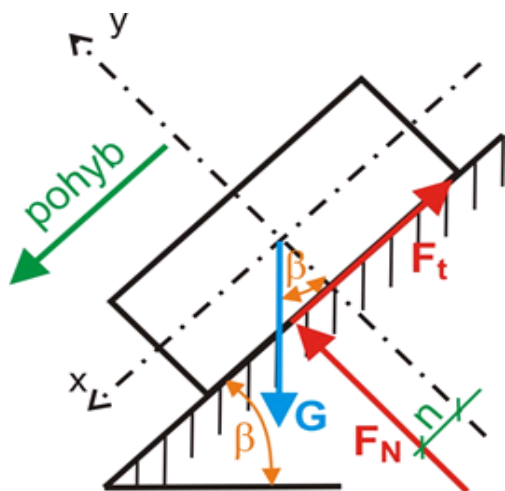
Celý výpočet souřadnic těžiště výhodně uděláme seřazením výsledků částkových výpočtů do tabulky

i	x_i	y_i	z_i	H_i	$x_i H_i$	$y_i H_i$	$z_i H_i$
1							
2							
...							
\sum				A	B	C	D

Symbol H_i představuje jednu s veličin V_i , S_i , l_i . Souřadnice těžiště určíme podílem příslušných sum.

12. Pasivní odpory

12.1. Smykové tření



F_t – třecí síla

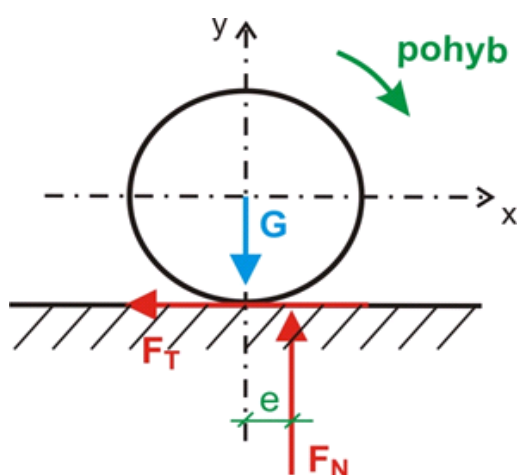
F_N – normálová reakce

Coulombova reakce: $F_t = F_N \cdot f$

f – součinitel smykového tření

F_t – třecí síla - působí vždy proti směru pohybu

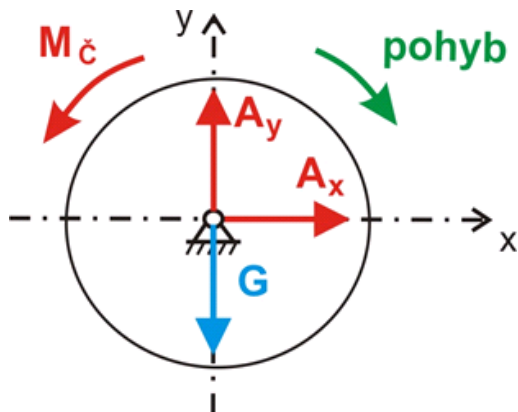
12.2. Valivý odpor – valivá reakce:



F_T – tečná reakce

F_T – působí proti možnému smyku

12.3. Moment čepového tření:



$$M_{\check{c}} = f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}} \cdot A$$

$$M_{\check{c}} = f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}} \cdot A \cdot \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A}$$

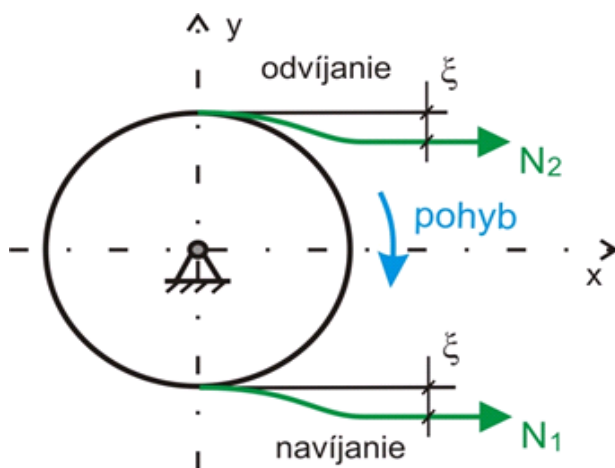
$M_{\check{c}}$ – moment čepového tření

$f_{\check{c}}$ – součinitel čepového tření

$r_{\check{c}}$ – poloměr čepu

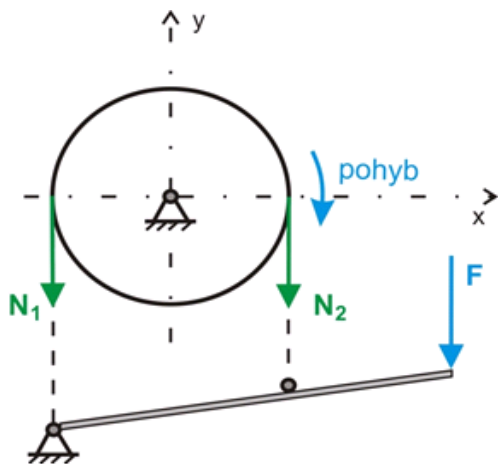
A – výsledná reakce v čepu

12.4. Tuhost, neohybnost lan:



ξ (ks) – rameno neohybnosti lana

12.5. Vláknové tření na válcové ploše:



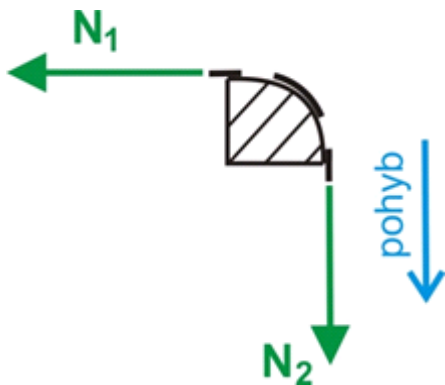
$$N_1 > N_2$$

$$\text{Eulerův vztah: } N_1 = N_2 * e^{\alpha * f_1}$$

α – úhel opásání [rad.]

f_1 – součinitel vláknového tření na válcové ploše

$$\alpha [\text{rad}] = (\pi / 180) * \alpha$$



$$N_1 > N_2$$

$$\text{Eulerův vztah: } N_1 = N_2 * e^{\alpha * f_1}$$

INOVAČNÍ PROCESY

1. Co je Proces?

Proces je obecný pojem pro postupný tok dějů, stavů, aktivit nebo práce.

V reálném světě existuje více typů procesů, takže se pojem proces používá v praxi v různých významech. Proto je důležité znát kontext toho, o jaké procesu se hovoří, jinak může dojít k nedorozumění. Např.

- Business proces (proces jako tok činností a práce)
- Produkční proces (proces jako tvorba hodnoty, produktu)
- Systémový proces (proces jako běh software)
- Výrobní proces (proces jako tvorba produktu)
- Technologický proces (proces jako postup výroby nebo tvorby něčeho)
- Chemický proces (proces jako chemický děj)
- Termodynamický proces (termodynamický děj)
- Biologický proces (jako biologický děj)

Podle chování s procesy rozdělují na:

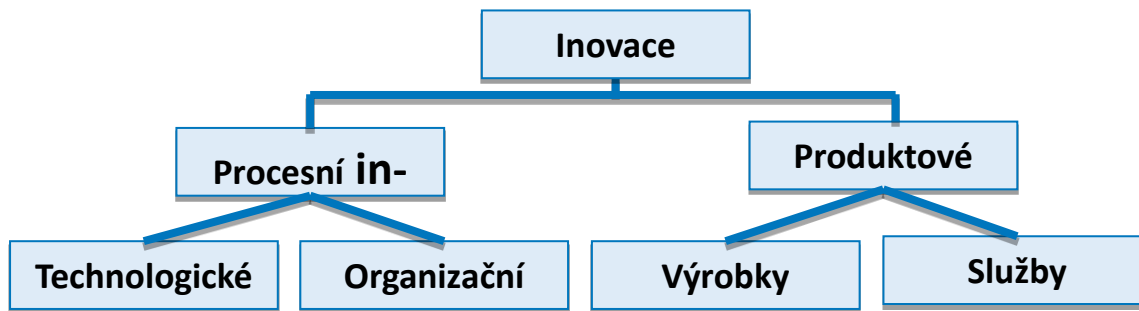
- Stochastické procesy - u takových procesů není přesně známo jak probíhají, výsledek lze vysvětlit pouze pravděpodobností
- Deterministické procesy jsou takové, jejichž chování je přesně známo.

1.1. Co je Inovace?

Inovace znamená zdokonalení. Představuje komplexní proces od nápadu, přes vývoj až po případnou realizaci. Výsledkem inovací je zlepšený proces, výrobek, služba či cokoliv dalšího.

Obvykle se rozlišují tyto typy inovací:

- inovace produktu nebo služby,
- inovace procesu,
- organizační inovace,
- marketingové inovace.



Inovace v praxi

- Inovace jsou klíčovým hybným faktorem evoluce všech organizací.
- Díky inovacím dochází k zavádění nových produktů, jejich zdokonalování a vývoji, ke zvyšování efektivnosti práce, snižování nákladů, či zlepšování kvality.

Povzbuzování inovací v podnicích je nedílnou součástí dobrého řízení a je součástí přístupů k řízení kvality (např. PDCA cyklus, Six Sigma atd.)

1.2. Řízení inovací

Co je Řízení inovací?

Řízení inovací se zabývá zaváděním něčeho nového do fungování a chodu organizace/podniku nebo do portfolia jejích/jeho výrobků či služeb. Inovace úzce souvisí s řízením kvality a proto uvedené metody se vzájemně značně překrývají.

Metody řízení inovací

- Blue Ocean Strategy
- CAF
- DMAIC
- Demingův cyklus (PDCA)
- EFQM Excellence Model
- Kaizen
- Kroužky kvality
- Open Innovation
- Six Sigma
- TRIZ
- TQM – Total Quality Management
- User Centered Design

Demingův cyklus (PDCA Cyklus)

- je metoda postupného zlepšování například kvality výrobků, služeb, procesů, aplikací, dat, probíhající formou opakovaného provádění čtyř základních činností:
 - **P** – Plan – naplánování zamýšleného zlepšení (záměr)
 - **D** – Do – realizace plánu
 - **C** – Check – ověření výsledku realizace oproti původnímu záměru
 - **A** – Act – úpravy záměru i vlastního provedení na základě ověření a plošná implementace zlepšení do praxe
- **v praxi** se používá jako přesně stanovený a cyklicky se opakující sled kroků a činností při zavádění inovací a zvyšování kvality především ve výrobě.

1.3. Six Sigma

- je komplexní metoda řízení a je označována spíše jako filosofie, kterou musí organizace (podnik) přijmout.
- Je zaměřená na neustálé **průběžné zlepšování** (inovace) organizace pomocí porozumění potřeb zákazníků, pomocí analýzy procesů a **standardizace metod měření**.
- Jedná se o komplexní, pružný systém řízení, který je založen na porozumění potřeb a očekávání zákazníků, disciplinovaném používání informací a dat k řízení a rozhodování.
- Inovace jsou v Six Sigma založeny na cyklu zlepšování, který je zaměřený na vyhledávání slabých míst, jejich odstraňování.

Cíle a charakteristika Six Sigma

- Maximalizace zisku
- Efektivní využívání zdrojů a zvyšování produktivity
- Redukce podpůrných procesů
- Minimalizace negativních jevů - defektů, neshod, ztrát, reklamací a nákladů

1.4. TQM (Total Quality Management)

- zpravidla se nepřekládá a používá se zkratka **TQM**,
- je velmi komplexní metoda řízení, která klade důraz na řízení kvality ve všech dimenzích života organizace. Překračuje tak rámec řízení kvality a stává se i metodou strategického řízení a manažerskou filozofií pro veškeré konání organizace.
- Existuje celá řada různých forem a výkladů TQM, nicméně společné rysy lze vyčíst z písmen jeho zkratky:
 - **Total** – jde o **úplné** zapojení **všech** pracovníků organizace
 - **Quality** – jde o pojetí principů kvality v celé organizaci
 - **Management** – principy se prolínají všemi úrovněmi řízení i všemi manažerskými funkcemi
- Tyto společné principy TQM se uplatňují v různých organizacích a různých zemích různě, vždy v závislosti na jejich sociálních, kulturních, personálních, legislativních, technických a dalších podmínkách.

1.5. Analytické techniky použitelné v řízení inovací

- Brainstorming
- Mentální mapy
- Paretovo pravidlo
- SMART - návrh cílů

Strategické plánování

- strategické plánování představuje systematické řízení jakékoliv organizace/ podniku. Zaměřuje se na to, aby subjekt mobilizoval a co nejefektivněji využíval všechny vlastní zdroje a včas a správně reagoval na změny v okolním prostředí.
- Hlavní přínos strategického plánování spočívá v tom, že:
 - pomáhá si jasně uvědomit žádoucí směry dlouhodobého vývoje a soustřeďuje veškeré úsilí a zdroje na řešení klíčových problémů,
 - ukazuje, jak se nejlépe připravit na budoucí vývoj vnějších podmínek, jak minimalizovat negativní dopad hrozeb a maximálně zužitkovat příležitosti, jež se mohou v budoucnosti objevit,

- vytváří objektivní základ pro rozhodování o prioritách,
- řeší problémy dlouhodobě a komplexně,
- umožňují optimálně využívat zjevné i skryté lidské a finanční zdroje.

1.6. Strategický plán

Strategický plán je možné chápat jako dohodu o dalším využití současných možných zdrojů a nalezení společného programu, který chceme ve vzájemné spolupráci postupně uskutečnit. Není přitom tak důležité, jakým způsobem se k doporučeným krokům dostaneme, jakou metodu strategického plánování zvolíme, ale mnohem důležitější je společná vůle prosazovat postupné kroky, které povedou ke zlepšení celkové situace.

- měl by splňovat následující kritéria:
 - dlouhodobost (zpracován min. na období 4 let),
 - systematickosti (mapuje všechny odvětví a obory),
 - selektivnost (definování priorit, které se dále rozpracují),
 - provázanost (mezi opatřeními a dotčenými cílovými skupinami),
 - soustavnost (není to rigidní dokument, je nutné ho prověřovat a modifikovat),
 - otevřenost (směrem k potřebám a námětům občanů)
 - realnost.

1.7. Podnikatelská strategie

- Strategie podniku je jedním z nejdůležitějších dokumentů každého podniku, který stanovuje konkrétní cíle podnikání na delší období (3-5 let) a cesty, jak těchto cílů dosáhnout.
- Pod pojmem strategie lze vidět tři základní složky:
 - **poslání (mise) podniku** - krátký text, určený zaměstnancům a externím pracovníkům podniku, který stanovuje oblast podnikání a vztahy k partnerům společnosti;
 - **dlouhodobé cíle (vize)** - pro vybraná klíčová kritéria výkonnosti obsahuje číselně a textově definované cíle pro období, na které je strategie zpracována;
 - **vlastní strategie**, která představuje časově a věcně provázaný soubor změn (projektů), jejichž úspěšná realizace povede k dosažení dlouhodobých cílů.

2. Konkurenční výhoda, konkurenceschopnost

2.1. Pojem konkurenceschopnost

- v ekonomickém slova smyslu je to **schopnost podniku dosahovat ekonomické renty**.
- ekonomickou rentu podle Ricarda, která se vztahuje k vzácným zdrojům, tj. zdrojům, které jsou jen obtížně napodobitelné konkurenty /např. jedinečné geografické umístění, dlouhodobá reputace podniku apod./
- ekonomickou rentu podle Schumpetera, která se vztahuje k inovacím, v čase je kratší, protože inovace lze napodobit.

2.2. Konkurenční výhoda

Konkurenční výhoda organizací může vyplynout z jejich velikosti (majetek, působnost, postavení na trhu) nebo ze schopnosti mobilizovat svůj intelektuální kapitál, technologické dovednosti a zkušenosti a vytvořit něco zcela nového v nabídce svých produktů nebo služeb.

Tento trend přispívá také jako zdroj všeobecného ekonomického růstu. Dle Tidda a kol. (2006) inovace přispívá v několika směrech:

- silný vztah mezi tržním výkonem a novými produkty,
- nové produkty pomáhají udržovat tržní podíly a zvyšují profitabilitu,
- růst i vlivem necenových faktorů (design, kvalita, individualizace apod.)
- schopnost nahrazovat zastaralé produkty (zkracující se životní cyklus produktů),
- inovace procesů, které mají vliv na zkracování času na produkci a vývoj nových produktů rychleji než konkurence.
- Z toho tedy vyplývá, že inovační činnost podniku významně ovlivňuje konkurenceschopnost, která je založená na nenapodobitelných schopnostech a dovednostech. Dosažení vyšší konkurenceschopnosti pomocí inovací má za

následek produkty levnější a vyšší kvality než konkurence.

- Pokud není organizace schopná vstoupit neustále inovovat, riskuje, že zůstane vzadu a iniciativu převezmou jiné subjekty. J. Schumpeter (in Tidd a kol, str. 8, 2006) tvrdil, že podnikatelé se budou snažit použít technologickou inovaci – nový produkt nebo službu, nebo nový proces při jejich produkci – když tím získají strategickou konkurenční výhodu. Vznikne konkurence, která neútočí na ziskové marže nebo výstupy existujících firem, ale na jejich podstatu a jejich samotnou existenci.

2.3. Inovace a konkurenční výhoda

- Z hlediska tvorby konkurenční výhody je fenomén inovace možné odlišit jako tři základní typy inovací:
 - buď se mění výrobek a služby k němu připojované,
 - nebo se mění způsob výroby a produkční kapacity,
 - anebo se mění lidé a způsoby práce i jejího řízení.
- Na začátku se klade důraz na invenci, z které se přirozenou odezvou stane právě inovace, nebo naopak, inovace může nastoupit i bez předchozí invence.
- Jirásek, 2004 vytvořil formuli: *„...invence generuje inovace, které jsou základním pilířem konkurenční výhody...“*
- Z hlediska historického vývoje chápání fenoménu inovace odbornou veřejností, ve spojení tvorby konkurenční výhody, je možné spatřit myšlenkový posun.
- **Jedna inovace přitahuje druhou, navzájem se doplňují a posilují. Tvoří „shluky“ inovací. Teprve při analýze souvislosti těchto inovačních shluků se společenskou poptávkou po nové produktové hodnotě se uvádí konkurenční výhoda a pokrok podnikání.**

2.4. Růst založený na inovacích

- Účelem existence podniku je vytvářet zákazníka. Proto podniková organizace má pouze dvě základní funkce: marketing a inovace (podnikatelské funkce).
- Podnik musí sledovat, nakolik výrobky odpovídají dnešním potřebám zákazníků.
- **Čtyři základní souběžné podnikatelské přístupy:**

- organizované odvrhování výrobků, služeb, procesů, trhů, distribučních kanálů, atd. neodpovídající požadavku optimálního umístění zdrojů,
- musí organizace provádět systematické a nepřetržité zdokonalování,
- zužitkování svých úspěchů,
- organizovat systematické inovace (vytvářet odlišný zítřek).

2.5. Cíle a strategie inovací

Hlavními činiteli ovlivňujícími politiku inovací všech organizací jsou:

- globalizace trhu a nabídky inovací,
- (otázka **globalizace** se nyní již týká všech organizací. Komunikační technologie dovolují i malým firmám operovat v mezinárodním měřítku.)
- vizualizace práce, důraz na zkracování času a real-time operace,
- (**Virtuální práce** umožňuje vysokou flexibilitu, avšak zvyšuje riziko ztráty dat, informací, znalostí i celých inovačních záměrů)
- výzvy plynoucí ze zájmu o dlouhodobou udržitelnost a standardizaci,
- (otázky **dlouhodobé udržitelnosti** a standardizace vytvářejí hranice inovačním návrhům.)
- flexibilita distribuční sítě a nové obchodní modely,
- (**snižování nákladů** a snaha o maximální flexibilitu také ovlivňuje distribuční procesy a nutí organizace využívat více obchodních modelů. Rychlá komercializace vychází z výše uvedeného požadavku na udržení inovační nadřazenosti a konkurenceschopnosti.)
- důraz na rychlou komercializaci výsledků VaV.
- **Inovace tedy musejí být zacílené na zákazníka a přidanou hodnotu. Od těchto cílů musí organizace odvíjet své jednotlivé strategie v souladu se svým posláním a vizí.**

2.6. Inovační strategie

- **Strategie** organizaci zajišťuje jednoznačný směr **jak se chovat a reagovat na nastalé situace.**

- Strategie umožňují naplňovat jednotlivé cíle organizace a realizovat vizi a odrážet její poslání.
- Strategie lze nejefektivněji tvořit na základě **SWOT analýz** (oboru, organizace, okolního prostředí, apod.). Jejich závěry jsou východiskem pro udávání směru. Nesmíme opomenout, že **strategické řízení** neznamena jen implementaci vybrané strategie, ale také neustálou korekci a evaluaci jednotlivých cílů, měřítek a SWOT.

2.7. Strategický management obecně:

- Na základě různých podnětů tvoří varianty strategií.
- Volí směr (obor, strategii) v jakém se bude realizovat, formulovat dlouhodobou orientaci a chování ve svém prostředí.
- Převádí vizi a poslání na soubor měřitelných cílů a ukazatelů.
- Navrhuje postup jak těchto cílů dosáhnout.
- Dohlíží na implementaci zvolené strategie.
- Následně monitoruje vývoj a výkonnost, provádí audit, provádí změny na základě aktuální situace.

2.8. Hierarchie strategií

- V zásadě **odpovídá na otázky co, kdo, jak a za kolik.**
- **Hierarchie strategií** v organizaci má obecně tuto strukturu:
 - strategie celé organizace,
 - funkční strategie (výzkum a vývoj, nákup, prodej, marketing, logistika, lidské zdroje aj.),
 - operativní strategie (pobočky, závody, regionální apod.).
- **Inovační strategie** patří v hierarchii mezi **funkční strategie**, avšak měla by se objevit ve funkčních strategiích všech organizačních složek. Jak již víme, inovace nejsou jen otázkou vědy a výzkumu.

2.9. Inovační podnikání

Inovační podniky **vznikají** několika způsoby:

- podnikatelský záměr založený na výsledku výzkumu a vývoje, patentovaného technologického postupu, financovaný bankou nebo „venture capital“,
- podnikatelský záměr vznikající za podpory podnikatelského inkubátoru,
- intrapodnikání v rámci velké společnosti, resp. corporate venture,
- spin-off firma (oddělení části organizace od „matky“),
- sociální podnikání (inovace ve formě snahy o změnu ve společnosti),
- apod.

2.10. Inovační organizace/firma

- Inovační organizaci charakterizuje typické rčení: „Naším největším aktivem jsou lidé.“
- V tomto případě se nejedná o frázi, nýbrž charakteristiku organizace zaměřené na **kreativní činnost**. Tato organizace využívá synergií, které jsou vytvářeny při týmové práci. Mají většinou **procesní** (příp. pružnou) **organizační strukturu**.
- Někdy je také organizace spojena s inovátorem (osobností), která kolem sebe nabaluje další tvůrčí pracovníky.

- Pojem inovační organizace je úzce spojen s **podnikavostí**. Nové podnikatelské záměry zaměřené na inovace vznikají v high-tech oborech jako jsou nanotechnologie, biotechnologie, IT, polovodiče apod.

Inovativní organizace je charakterizována:

- sdílenou vizí, posláním a vůlí inovovat,
- procesní struktura,
- silné individuality (vůdci = leadeři),
- efektivní týmová spolupráce (sdílení znalostí),
- neustálý individuální rozvoj,
- bezbariérová komunikace všemi směry,
- všichni členové organizace jsou zapojeni do inovací, a ochotni přijímat změny,
- proinovační kultura (klíma),
- učící se organizace.

3.Sběr informací, tvořivost

3.1. Sběr informací, zdroje informačních nápadů, podněty k Inovacím

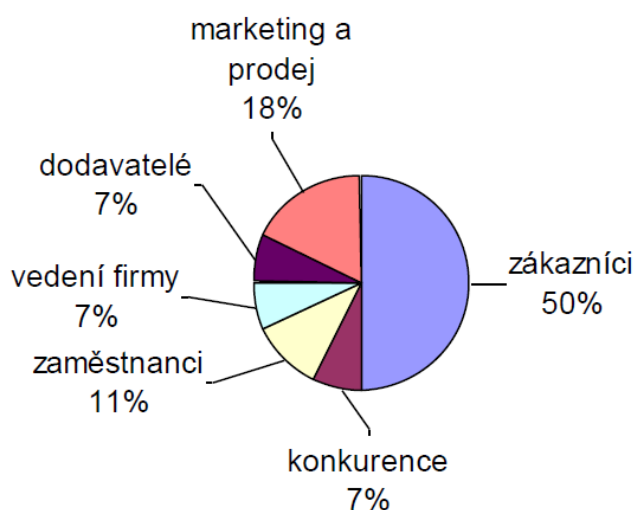
Vnější prostředí

- Zákazníci
- Dodavatelé
- Konkurence
- Konzultanti, V&V instituce
- Školy, univerzity
- Odborné publikace
- Internet
- Výstavy, veletrhy, specializované semináře a konference
- Patentové databáze
- Reklamní agentury
- Investoři
- Média
- Autorizované zkušební laboratoře, certifikační agentury
- Státní instituce
- Veřejný sektor
- Legislativa
- Globalizace

Vnitřní prostředí

- Vlastní V&V
- Technické útvary – projekce, konstrukce, technologie
- Výrobní útvary (výroba, poskytování služeb)
- Marketing a prodej
- Logistika (nákupy a dodávky)
- Záruční a pozáruční servis
- Vlastníci

Zdroje inovačních podnětů



3.2. Definice tvořivosti

- Tvořivost je proces, jehož výsledkem je nový objekt, který je užitečný a uspokojuje potřeby v příslušném čase a prostředí.
- Tvořivost je neustálý proces pomocí kterého člověk kombinuje a rekombinuje své dřívější zkušenosti a poznatky takovým způsobem, že nachází nový postup, uspořádání a vztahy, které lépe řeší identifikován problém.
- Tvůrčí řešení je řešení těžkého problému. Těžký problém je problém, který nemá zjevné řešení.
- Ve vztahu k definování tvořivosti, třeba zdůraznit rozdíl mezi řešením úkolů a řešením problémů.
- Při řešení úloh je znám cíl a také metoda pro jeho dosažení. Na řešení se používají definované algoritmičké postupy.
- Při řešení problému je známá jen jeho identifikace a částečně cíle, ale neznáme postup jak ho dosáhnout.
- Tvůrčí řešení vznikají na bázi znalostí, ale samotné znalosti negarantují řešení problému, pokud jsou staticky aplikovány.
- Tvořivost je více založená na způsobu transformace znalostí, jak na jejich množství.

3.3. Rozdíl mezi analytickým a tvůrčím myšlením

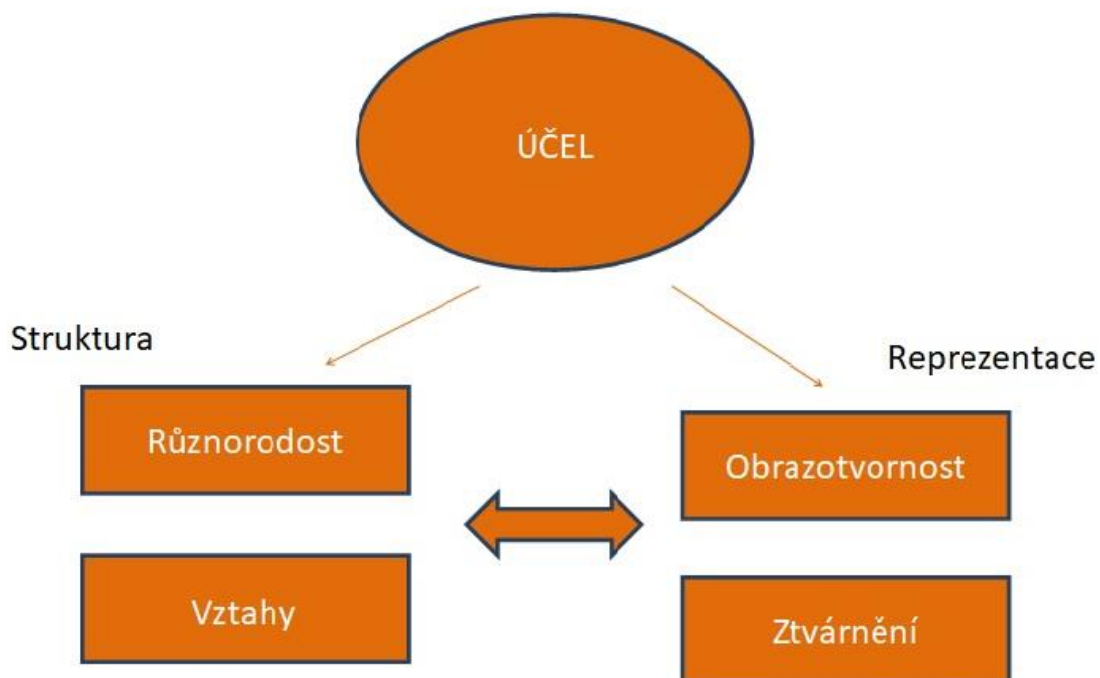
Analytické myšlení

- logika
- jednotlivé odpovědi
- konvergentnost
- vertikální postup
- hledání řešení

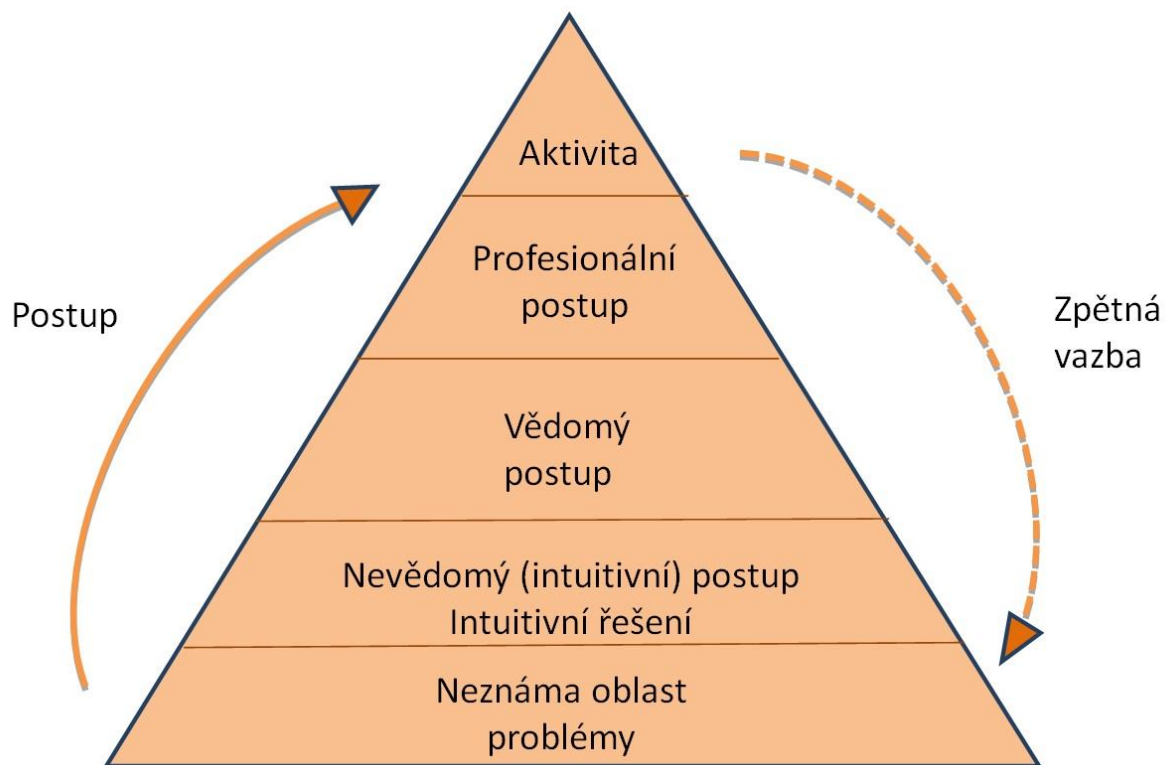
Tvůrčí myšlení

- představivost
- kumulativní odpovědi
- divergence
- laterární postup
- generování řešení

3.4. Model tvořivosti



Fáze tvůrčího procesu vyjadřují jak se z neznámé oblasti a intuice postupně přechází k



3.5. KAIZEN - Iniciativy pro kontinuální inovace

- Nejznámější metodou zapojení pracovníků do kontinuálních inovací je metoda **KAIZEN**. Tato původně japonská metoda je v současnosti integrální částí pracovní iniciativy ve většině vyspělých podniků.
- **KAI** - zlepšování (vše se dá zlepšit, každý výrobek, technologický postup, pracovní činnost, výrobní systém)
- **ZEN** - zlepšování je neustále, reaguje na každou novou možnost, změnu podmínek, novou informaci a může se na něm podílet každý pracovník.
- **Kaizen** znamená zlepšování produkce v zaměření na zákazníky, zlepšování všech procesů v hodnotovém řetězci podnikových činností při souběžném snižování nákladů. Jeho bází je masová iniciativa pracovníků podporovaná efektivním motivačním systémem.

Důležité zásady aplikace systému KAIZEN

- Každému zlepšení, i když by bylo jen málo významné, se musí věnovat pozornost.
- KAIZEN je otevřený pro každého. Všichni pracovníci mohou participovat na procesu zlepšování.
- Než se nějaké zlepšení zavede, musí být přesně analyzovány s ohledem na existující stav a možné pozitivní nebo negativní vlivy.
- Management má dva hlavní úkoly - vytvoření a udržování standardů a jejich zlepšování.
- Preference pracovního týmu, podpora účast a iniciativu pracovníků při řešení problémů.
- Zlepšení hledat s pomocí pracovních schůzek týmu. Důležitá je dobrá příprava a vedení schůzky, jakož i výběr tématu a zabezpečení prosazení realizace přijatého řešení.
- Informovanost o aktuálním stavu ve výrobě, problémech a podnikových cílech, navigace procesu zlepšování na oblasti, které tvoří úzké místa.
- Silná podpora ze strany vedení podniku. Kaizen je postaven na aktivitách zdola, ale vyžaduje silnou podporu shora.
- Vytvoření organizačních předpokladů pro zlepšení.
- Motivace pracovníků - spoluúčast na úspěchu. Materiální a finanční ohodnocení dobrých řešení.
- Podpora zlepšení, které se dají rychle vyhodnotit a realizovat a nevyžadují vysoké investice.

4. Inovační příležitost

4.1. Inovační příležitosti

- Až analýza příležitosti ukáže, zda nápad je realizovatelný a zda splňuje podmínky potenciální úspěšnosti.
- Proces identifikace příležitosti lze přirovnat k hledání zlatých zrněk. Pokud inovační nápady přirovnáme k písku, pak prosévání přes soustavu sít je hledání příležitosti.
- Tento postup potvrzují statistické údaje o tzv. vyřazování nových inovačních nápadů.

4.2. Zdroje inovačních příležitostí

Nečekané události:

- Nečekaný úspěch
- Nečekaný neúspěch: konfliktům mezi představami lidí a trhem, který to nepřijme. Udělali jsme příliš mnoho změn a zákazník to nepřijal.
- Nečekaná vnější událost: radikálně mění názory na vývoj. Např. válka v Iráku - najednou je velká potřeba plynových masek. Nečekaná událost generuje požadavek něco nového vymyslet.

Rozpornost skutečností: rozpornosti vyplývají častokrát z konkurenčního prostředí, kde především vlivem vstupu nových produktů se mění pohled na produkty již zažité. Třeba se rozhodnout, co udělat s takovými produkty. Management se musí rozhodnout, zda zůstane věrný produktu (věrný produkt)

- roste poptávka po produktu a přitom objem prodeje stagnuje či klesá,
- lidé nesprávně pochopí podstatu problému,
- rozpor mezi předpokládanými hodnotami a očekáváními zákazníků,
- rozpor v logice procesu, vychází z poznání procesů.

Inovace vycházející z potřeby určitého procesu: Nedostatek interdisciplinárního chápání inovací

Změny odvětvové nebo tržní struktury: každé odvětví se rozvíjí jiným tempem.

Demografické změny: vliv na to, co se bude kupovat, kdo to bude kupovat av jakém

množství. Rozhodování o množstvích. Je to otázka podnikání se ziskem.

Změny v pohledu na svět: v každém čase je prioritní jiná hierarchická vrstva hodnot lidstva, problém načasování. Pokud bude vrstva lidí, kteří jsou bohatí, tak je to prostor pro tvorbu určitých produktů, které jsou určeny pro tyto lidi.

Nové znalosti: jde o inovace nejvyšších stupňů. Otázka poznání nových vztahů, které nebyly využity v produktech. Může to být nová myšlenka. Např. ptačí chřipka - snaha vytvořit jakousi vakcínu. Tomu, komu se to podaří je to komerční úspěch - kdo bude první. "

4.3. Typová struktura studie hodnocení inovační příležitosti

- Podnikatelský nápad: identifikována potřeba a způsob jejího splnění, transformace nápadu do výrobku nebo služby, zdroje, informace, otázky výzkumu a vývoje apod.
- Hodnocení příležitosti: tržní potenciál, zdroje, potenciální konkurenceschopnost, výkonnost, rizika.
- Podmínky pro úspěšnou realizaci: soulad se strategií podniku, přijatelnost rizikových faktorů, možnost využít výhod novosti nápadu, odhad důsledků pro firmu při úspěšnosti a neúspěšnosti...

4.4. Metodický postup hodnocení inovační příležitosti

- Kontrola hodnocených nápadů: Je nápad jasně formulován?
- Třídění nápadů do skupin.
- Výběr systému hodnocení resp. zpracování vlastního systému hodnocení.
- Provedení hodnocení.

Při výběru systému hodnocení a příležitostí třeba uvážit následující faktory:

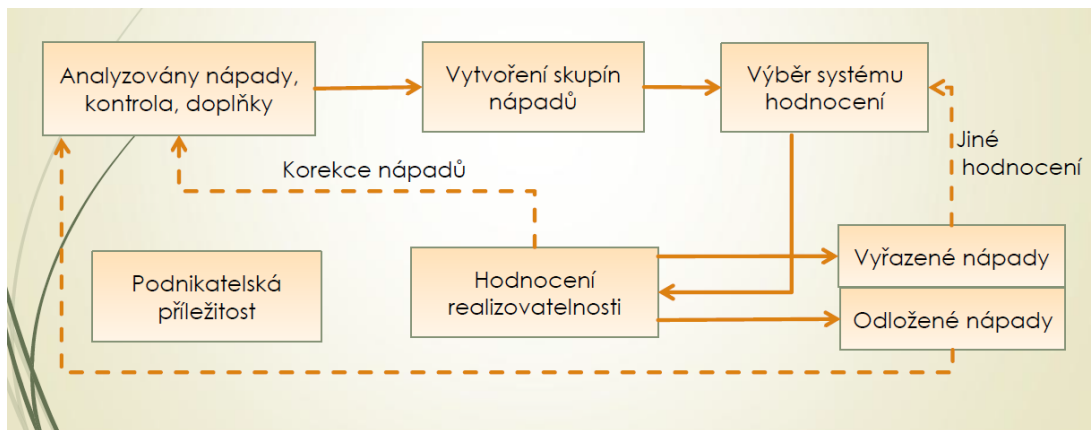
- Funkčnost,
- Úplnost a přesnost,
- Spolehlivost,
- Vlastní výkonnost,

- Dobrá aplikovatelnost.

4.5. Postup při analýze inovačních příležitostí

- Trhový potenciál: určení segmentu trhu a jeho celkové kapacity, odhad vývoje trhu, odhad podílu na trhu, odhad objemu odbytu produkce, odhad cenové úrovně a tendenci jejich vývoje.
- Potřeba zdrojů: určení jednotlivých složek zdrojů a jejich proporce, odhad nákladů na jednotlivé zdroje a celkové investiční náročnosti na zahájení realizace inovace, náklady realizace příležitosti, odhad potřeby dalších zdrojů pro provoz a rozvoj podnikání, způsob zabezpečení, rizika související se zdroji.
- Ekonomická efektivnost: průběh likvidity, odhadovaný celkový zisk za dobu životnosti nového podnikání, rentabilita vloženého kapitálu, čas do dosažení ziskovosti, vývoj kapitálové struktury podniku.
- Konkurenceschopnost:
 - identifikace nejdůležitějších konkurentů,
 - určení hodnocených parametrů konkurenceschopnosti,
 - porovnávání očekávaných parametrů s parametry konkurentů.
- Časová výhodnost:
 - nápady přicházejí opožděně / trh je již obsazen /,
 - nápady přicházejí předčasně / trh ještě není připraven na akceptování /.
- Studie proveditelnosti: výsledky hodnocení příležitosti se zpracují do oficiálního dokumentu - podklad pro získání úvěru, investora.

4.6. Metodický postup hodnocení podnikatelské příležitosti



Při výběru systému hodnocení a příležitostí třeba zvážit následující faktory

- **Funkčnost** - Umožňuje najít dobré nápady, uspořádat je podle preference a vyřadit nevhodné nápady.
- **Úplnost a přesnost** - Postihuje všechny důležité faktory, odstraňuje při rozhodování neurčitost.
- **Spolehlivost** - Existuje ochrana před zavedením systematických chyb do procesu hodnocení.
- **Vlastní efektivnost** - Umožňuje rychlé a relativně málo nákladné hodnocení.
- **Dobrá aplikovatelnost** - Systém hodnocení je srozumitelný, dá se řídit a modifikovat podle aktuálních podmínek.

4.7. Typové metodické nástroje testování

- **Metoda kontrolních otázek** - použije se soubor otázek, kt.sa ukázaly jako efektivní v podobných podmínkách
- **Metoda porovnávání a uspořádání nápadů** - stanoví se soubor hodnotících kritérií, významnost, určí se hodnoty jednotlivých kritérií, určí se pořadí významnosti nápadů
- **Investiční metody** - banky a jiné investiční organizace mají definovaný předepsaný počet kritérií a jejich mezních hodnot, které vyžadují od financovaných projektů.

5. Zákazník, komunikace se zákazníkem

5.1. Definování zákazníka

- Podle normy ČSN EN ISO 9000 lze za zákazníka považovat organizaci nebo osobu, která přijímá produkt.
- Každá organizace tedy může bez ohledu na to, jakou činností se zabývá, vymezit dvě skupiny zákazníků:
 - externí,
 - interní.
- K interním zákazníkům lze řadit nejen zaměstnance společnosti, ale i vlastníka, který může výstupy použít jako další vstupy do svých procesů.
- Mezi externí zákazníky patří zprostředkovatelé (odběratelé, kteří však nemusí být finálními spotřebiteli) a koneční spotřebitele výrobků a služeb.
- Správné vymezení cílové skupiny zákazníků představuje klíčovou činnost významně ovlivňující úspěšnost inovace.

5.2. Komunikace se zákazníkem

Měření spokojenosti zákazníků je při naplňování principu „zpětné vazby“ tím nejdůležitějším kritériem. Tento princip patří k nezákladnějším principům efektivního systému managementu. Informační kanály umožňují komunikaci se zákazníkem a poskytují informace o očekávaných potřebách zákazníků, a jak tyto potřeby organizace uspokojuje.

5.3. Definování požadavků zákazníka: Nutné; Rozšířené; Atraktivní

- Norma ČSN EN ISO 9000 uvádí: „Organizace jsou závislé na svých zákaznících, a proto mají rozumět současným a budoucím potřebám zákazníků, mají plnit jejich požadavky a snažit se předvídat jejich očekávání.“

- Kanův model - jde o metodu mapování požadavků zákazníka. Strukturovanými otázkami pomáhá charakterizovat různé znaky a vyjasňovat nesrozumitelné otázky.
- Model je lehce srozumitelný a použitelný. Model se domnívá, že existují 3 typy požadavků

zákazníka, které ovlivňují jeho spokojenost.

- **Nutné požadavky zákazníka** - pokud nebudou požadavky splněny, zákazník bude nespokojený. Na jedné straně si zákazník vynucuje mít výrobek, který chce, na druhé straně ale splnění požadavků nezvyšuje spokojenost. Zákazník považuje požadavky jako základ.
- **Rozšířené požadavky zákazníka** - požadavky jsou přímo úměrné uspokojení zákazníka. Zvyšují funkčnost nebo kvalitu, zvyšuje se spokojenost zákazníků. Cena je závislá na splněných požadavcích.
- **Atraktivní požadavky zákazníka** - při splnění těchto požadavků se spokojenost zákazníků zvýší, je ochota zaplatit i vyšší cenu.

5.4. Podněty k inovacím

- **Prioritní zákazníci**
 - vidí potřebu inovace dávno předtím, než se dostane výrobek na trh
 - často sami vymýšlejí výrobky a služby, např. tehdy, když zjistí nedostatek výrobku
- **Skupina nadšenců**
 - koneční zákazníci, kteří vymýšlejí různé inovace výrobků, β -verze softwaru, atd.
- Využívání těchto kontaktů k získávání informací:
 - jak jsou produkty zákazníky využívány
 - s jakými problémy se zákazníci setkávají a jak se s nimi vyrovnávají
- Sbíráání námětů zákazníků na úpravy existujících produktů
- **Podněty k inovacím mohou vycházet ze**
 - sběru zpětných vazeb,

- zájmových sdružení spotřebitelů
- průzkumů a dotazníkových šetření,

ale je třeba k nim přistupovat s jistou dávkou opatrnosti.

Ford: „Kdybych se řídil přáním svých zákazníků, pak bych choval lepší koně.“

- Některé firmy sbírají nápady od zákazníků tak, že se samy stanou zákazníky.

Harley Davidson: „Manažeři se zúčastní závodů a sami jezdí na motocyklech, které firma vyrábí. Vidí tak své výrobky očima zákazníků, lépe jim rozumí a mohou využít zpětných vazeb.“

5.5. Zákaznický test - koncepční představy nového produktu

- předběžné zjištění potenciálu inovace na trhu
- jeden ze vstupů pro zpracování studie proveditelnosti.
- Vybraným zákazníkům předložíme specifikaci, výkres, obrázek, model a vyžádáme si od nich vyjádření, zda produkt vzbudil jejich zájem,
 - zda (a proč) by mu dali přednost před konkurenčními produkty,
 - zda budou mít o produkt zájem (a za jakou cenu),
 - jak by se produkt mohl více přizpůsobit jejich potřebám

5.6. Rozhodování o realizaci námětů.

- Rozhodování představuje jednu z nejdůležitějších a nejvýznamnějších činností manažerské práce.
- Rozhodování tvoří součást pracovní náplně manažerů na všech úrovních řízení.
- Rozhodovací proces lze rozčlenit do určitých vzájemně návazných činností, které se uskutečňují v časovém sledu a nazývají se etapy rozhodovacího procesu.

Tyto etapy tvoří:

- vymezení (identifikace) rozhodovacího problému, která je často založena na zjištění odchylky skutečného stavu od stavu žádoucího, resp. naplánovaného,
- analýza a objektivní a srozumitelné formulování problému a vymezení cílového stavu,
- tvorba možných variant řešení problému,
- stanovení kritérií hodnocení,
- analýza variant, určení dopadů, důsledků a účinků jednotlivých variant,
- výběr neoptimálnější varianty, čili té, která splňuje nejlépe cíle řešení,
- realizace zvolené varianty,
- kontrola výsledků.

6. Metody rozhodování

6.1. 6 Klobouků

Metoda rozděluje proces myšlení a používá analogii k barvám resp. k barevným kloboukům. Nejprve je potřeba vytvořit mapu a poté najít cestu.

6 klobouků reprezentuje různé role (pravidla) myšlení:

- Bílý klobouk (neutrální) znamená jasný cíl, fakta, čísla a informace. Lze jej přirovnat k počítači, který jen poskytuje odpovědi na otázky a informace.
- Červený klobouk znamená vidět červeně, emoce a pocity, intuice. Posouvá problém dále nebo naopak rychle zastaví.
- Černý klobouk charakterizuje „dávlova advokáta“, kritiku, pesimismus. Vyhledává možnosti omylu, chyb, ukazuje na rizika a nebezpečí.
- Žlutý klobouk představuje sluneční světlo, vyjasnění, optimismus, pozitivní a konstruktivní přístup, příležitost. Je opakem černého klobouku, vyhledává a zkoumá pozitivní důsledky.
- Zelený klobouk znamená kreativitu, plodnost, provokaci, zasévání semen nových idejí. Kreativní myšlení hledající alternativy, za hranice dosavadních myšlenek, generuje nové koncepty a náhledy.
- Modrý klobouk zastupuje umírněnost a kontrolu, diriguje a přemýšlení. Definuje subjekt, syntetizuje, tvoří choreografii myšlení.

6.2. Brainstorming a Brainwriting

- Základem těchto metod je otevřená diskuse skupiny lidí (nejlépe reprezentujících různé názory a pohledy).
- Ústředním pravidlem je nekritizovat a nechat mluvit, poslouchat a dále rozvíjet myšlenky, které se nejvíce diskutují.
- Účelem obou metod je vytvoření co nejširšího souboru nápadů, návrhů a idejí souvisejících s daným problémem.

- **Brainstorming** je diskusí s určeným moderátorem, který usměrňuje a vede členy.
- **Brainwriting** psanou podobou brainstormingu. Výhodou je eliminace negativních interakcí mezi členy diskuse.
- Metoda má následující pravidla:
 - Šestičlenným skupinám řízených moderátorem se zadá problém a každý člen skupiny předloží za pět minut tři způsoby řešení, tři nápady.
 - Je vhodné psát každý nápad na samostatný papír, či připravit formulář se třemi oddíly.
 - Po několika minutách se papíry posunou vždy o jednoho účastníka dál a rozvíjejí se předchozí nápady zaznamenané na papírech.

6.3. Design For Manufacturing and Assembly (DFMA)

je metoda a soubor nástrojů, která se orientuje na optimalizaci a redukcí nákladů, a to buď stávajícího, nebo nového produktu. DFMA znamená, že se produkty vyrábějí takovým způsobem, aby se dosáhlo snížení na jejich produkci. DFMA umožňuje analyzovat alternativní koncepty výroby a montáže a umožňuje hledat nová inovativní řešení. Zahrnuje analýzu funkcí, analýzu struktury, návrh struktury produktu, návrh jednotlivých součástí, hodnocení a výběr.

6.4. IRM a Hodnotová analýza

IRM praktický plánovací a komunikační nástroj, kde jsou identifikovány budoucí požadavky a množství cest jak je uspokojit. Patří spíše mezi strategické metody. Existují dva přístupy: zpětný od požadavku a dopřední od myšlenky. Zahrnuje tyto části:

- Všeobecné pochopení souvisejících výzev
- Kolektivní vize
- Tvorba mapy – hledání mezer a synergií mezi současnou situací, vizemi a cíli.

Hodnotová analýza je historicky nejstarší disciplínou oboru hodnotového inženýrství a inspirovala vznik samotného hodnotového managementu. Hodnotová analýza je účelně sestavený soubor metod, jehož smyslem je hledání a navrhování řešení na zlepšení funkcí analyzovaného objektu s cílem zvýšit jeho efektivnost. Jedná se o aplikační metodu, která dokonale reflektuje existující objekt.

6.5. „Six Sigma“ a TOC

- „Six Sigma“ je systém managementu kvality využívající pokročilých statistických metod. Slouží ke snižování variability a zlepšování výrobních procesů. Vyvinutá v japonských firmách.
- TOC (Teorie omezení) je přístup ke snižování rozpracovanosti produkce. Je to obecně známá metoda, která vychází z faktu, že každý systém (podnik) má své omezení či úzké místo.

Výhody TOC:

- Její klíčovou myšlenkou je tvrzení, že každý systém v sobě skrývá minimálně jedno úzké místo – omezení. Kdyby tomu tak nebylo, pak by systém (podnik) dosahoval svého cíle v neomezené míře.
- Poskytuje metodiku, jak omezení nalézt a účinně je využívat. Zaměřením úsilí na nejslabší článek je dosaženo rychlých a reálných přínosů.
- Snaží se řídit podniková omezení a tak aby omezení nezpůsobovalo ztráty.

6.6. IDEO

Tvůrčí metoda IDEO se opírá o teorii kreativního myšlení designérů, umělců apod. Ústředním prvkem je brainstorming a vizualizace nápadu. Metoda se stala základem populárního proudu „design thinking“, neboli myšlení designéra. Další důležitou charakteristikou je týmová práce lidí s co nejrůznějších oborů.

Stručný postup lze popsat pěti fázemi:

- Pochopení trhu, zákazníků a technologie.
- Pozorování současných i potenciálních uživatelů v reálných podmínkách a situacích.
- Vizualizace nových konceptů a nových zákazníků, kteří by je mohli používat, za použití prototypování, modelů a simulací.
- Hodnocení a doladování prototypů v sérii rychlých iterací (opakování).
- Zavedení nového konceptu a jeho komercializace.

6.7. Stage-Gate

Přístup charakteristický pro vědu a výzkum. Využívá se pro systematizaci a urychlení hodnocení výsledků VaV.

Proces „Stage-gate (etapa-brána):

- Dokončit laboratorní zkoušky a ujistit se, že produkt splňuje dané požadavky.
- Vyzkoušet produkt v poloprovozu a opět se ujistit, že je plně vyhovující.
- Produkt z poloprovozu se poskytne k testování vybraným zákazníkům.
- Poté se vypracuje přehled všech informací, abychom se ujistili, že je produkt plně vyhovující nebo je nutné zajistit další zdroje (suroviny, stroje apod.)
- Poté co se ujistíme, že lze produkt vyrábět, začneme připravovat konečný plán prodeje.

Důležité je klást si otázky, proč by někdo měl nový produkt koupit, nebo proč by měl přivítat inovaci? Posuzování by mělo být záležitostí zkušených s hlubokými znalostmi, ale také lidí s porozuměním ostatních souvislostí.

7. Analýza trendů

7.1. Pravidla podpory inovací v EU

- V současné době je veřejná podpora pro inovace povolena Nařízením Komise (ES) č. 800/2008 ze dne 6. srpna 2008, kterým se v souladu s články 87 a 88 Smlouvy o ES prohlašují určité kategorie podpory za slučitelné se společným trhem (obecné nařízení o blokových výjimkách).
- Tato nová (obecná) právní úprava veřejné podpory v zemích EU vychází z rámce Společenství pro státní podporu výzkumu, vývoje a inovací (Úřední věstník EU 2006/C 323/01).
- Oba tyto předpisy jsou vystavěny na výše uvedených principech poskytování veřejné podpory na základě identifikovaných tržních selhání.

7.2. Švýcarsko

- Švýcarsko se podle hodnoty Global Competitiveness Index 2007 - 2008 umístilo na druhém místě.
- Nejlepších výsledků ze všech srovnávaných zemí dosahuje Švýcarsko v ukazateli kvality výzkumných institucí a v úrovni výdajů na VaV v podnikovém sektoru.
- V roce 2004 tyto výdaje dosáhly 2,2 % HDP, což představuje jednu z nejvyšších hodnot ze zemí OECD.
- Za povšimnutí rovněž stojí, že soukromé výdaje na VaV tvoří ve Švýcarsku přibližně 70 % celkových výdajů na VaV.
- Švýcarsko výrazně předstihuje ostatní evropské země v patentové aktivitě, kde dosahuje přes 300 % průměru.
- Vysoká výzkumná, patentová a inovační aktivita Švýcarska je založena na silné průmyslové tradici země a významným zastoupením světových farmaceutického průmyslu, pro který jsou typické vysoké investice do výzkumu nových léčiv.
- Tento výsledek odráží fakt, že švýcarský inovační systém je založen především na investicích podnikového sektoru do výzkumu, vývoje a inovací a v omezeném zasahování vlády prostřednictvím přímých nástrojů podpory.

Silné stránky a slabiny národního inovačního systému ve Švýcarsku

Silné stránky inovačního systému	Slabiny inovačního systému
<ul style="list-style-type: none">- Vysoké výdaje na VaV v podnikovém sektoru- Vysoká kvalita výzkumných ústavů- Využívání nástrojů ochrany průmyslového vlastnictví (patentování)- Dostatek kvalifikovaných lidských zdrojů pro výzkum, vývoj a inovace- Propojenost politiky VaVaI se vzdělávací politikou- Jasný strategický směr politiky VaVaI určený pravidelně Sdělením BFI.	<ul style="list-style-type: none">- Nízké výdaje rizikového kapitálu- Neexistence formalizovaného mechanismu koordinace mezi jednotlivými ministerstvy odpovědnými za výzkumnou a inovační politiku

7.3. Německo

- Německo patří k tradičně technologicky vyspělým zemím a řadí se mezi evropské inovační leadery. V mezinárodním srovnání konkurenceschopnosti podle Global Competitiveness Indexu 2007 – 2008 Německo obsadilo 5. místo,
- Z dílčích faktorů je Německo dobře hodnoceno zejména v oblasti ochrany duševního vlastnictví, dostupnosti vzdělávacích a výzkumných služeb, efektivitě antimonopolní politiky, profesionálního řízení firem, dostupnosti nejmodernějších technologií, kvalitě výzkumných organizací a výši podnikových výdajů na VaV.
- **Detailnější pohled na inovační výkonnost:**
 - patentová aktivita přibližně na 250 % průměru EU-27,
 - vysoké hodnoty v oblasti zaměstnanosti v high-tech odvětvích a obratu z inovovaných produktů.
- Jednou z významných předností inovačního systému Německa jsou vysoké podnikové výdaje na VaV, což se potvrzuje i v mezinárodním srovnání v rámci European Innovation Scoreboard. Tyto výdaje dosáhly v roce 2008 výše téměř 1,8 % HDP, což je ze zemí EU-27 nejvíce po Švédsku a Finsku

Silné stránky a slabiny národního inovačního systému v Německu

Silné stránky inovačního systému	Slabiny inovačního systému
<ul style="list-style-type: none"> - Využívání nástrojů ochrany průmyslového vlastnictví - Vysoké investice podniků do VaV - Kvalitní výzkumná infrastruktura - Tvorba inovační politiky je založena na intenzivním využívání analytických podkladových studií a identifikovaných tržních selháních - Rostoucí pozornost je věnována mezinárodnímu srovnání inovačních politik - Zavedený systém neformální koordinace mezi hlavními tvůrci inovační politiky (BMBF, BMWi, zemské vlády) - Zavedený systém technologického foresightu a jeho využívání při formulaci inovační politiky - Silný vliv různých zájmových skupin při tvorbě inovační politiky 	<ul style="list-style-type: none"> - Nedostatek kvalifikované pracovní síly - Nízká atraktivita pro špičkové zahraniční výzkumníky - Nedostatek rizikového kapitálu pro začínající inovační firmy - Rigidní federální systém komplikující a prodlužující realizaci politických rozhodnutí - Rozdělení kompetencí za oblast vzdělávací a inovační politiky mezi spolkovou vládu a zemské vlády – komplikuje reformu vzdělávacího systému - Vysoký počet implementačních agentur pro opatření inovační politiky - Překryvy v odpovědnosti za některé oblasti inovační politiky mezi BMBF a BMWi (např. podpora VaV v MSP, podpora VaV v nových spolkových zemích)

7.4. Finsko

- Finsko patří mezi země, které se dlouhodobě nacházejí na předních místech žebříčků konkurenceschopnosti.
- Finsko se podle hodnoty tzv. Globálního indexu konkurenceschopnosti (The Global Competitiveness Report 2007-2008) umístilo na šestém místě.
- Finsko je podle tohoto hodnocení řazeno k zemím, jejichž hospodářský růst je založen na uplatňování inovací.
- Finsko patří mezi země s největšími celkovými výdaji na VaV, které v roce 2005 přesáhly 3,5 % HDP.
- Vysoké jsou zejména podnikové výdaje na VaV, které převyšují 70 % celkových výdajů na VaV ve Finsku, což značně více, než činí průměr zemí EU-27.
- Veřejné výdaje na VaV značně převyšují evropský průměr (více než 150 % průměru EU), čemuž odpovídá i výrazně nadprůměrná veřejná podpora VaV a inovací v podnicích.

Silné stránky a slabiny národního inovačního systému ve Finsku

Silné stránky inovačního systému	Slabiny inovačního systému
<ul style="list-style-type: none">- Kvalita institucí a institucionálního systému- Transparentnost tvorby politik- Vysoké podnikové výdaje na VaV- Dostupnost a kvalita lidských zdrojů- Kvalita výzkumných institucí- Intenzivní spolupráce veřejného a soukromého sektoru ve VaVaI (i mezinárodní)- Intenzivní podpora VaVaI z veřejných zdrojů- Přítomnost podniků konkurenceschopných v globálním měřítku s velkou inovační kapacitou- Ochrana duševního vlastnictví	<ul style="list-style-type: none">- Vysoké daňové zatížení a předpisy- Restriktivní pracovní předpisy- Nízké investice rizikového kapitálu- Nižší podíl příjmů z inovovaných produktů na celkovém obratu podniků- Malá velikost země a trhu, obtížné dosažení „kritické masy“- Vzdávající počet hráčů v inovačním systému na regionální i národní úrovni, který se odráží v obtížnější koordinaci a rozdělení „práce“

OBSAH:

- Podpora inovací – obecné přístupy a nástroje
- Přehled politik VaVaI ve vybraných zemích
 - Finsko
 - Švýcarsko
 - Německo
 - Rakousko
 - Dánsko.
 - Velká Británie
 - Irsko

7.5. Inovační a modernizační strategie podnikání

V současné době je patrná snaha státu o zlepšení prostředí pro rozvoj podnikatelských aktivit (zejména pro inovativní růstově zaměřené podniky a začínající podniky). Jedná se například o:

- vytváření on-line informačních systémů pro podniky, které poskytují informace související s inovačním podnikáním, umožňují vstupy do databází, usnadňují orientaci v platné legislativě, normách apod.,
- on-line poradenství pro podniky (např. v souvislosti s podnikáním, nákupem licencí, exportem apod.),
- systémové zjednodušení veřejné podpory MSP (sjednocení programů) a snížení administrativní zátěže jak na straně podnikatelů (žadatelů o podporu), tak na

- straně poskytovatelů veřejné podpory (vytváření tzv. „one-stop shop“),
- změny legislativy, které stimulují vytváření proinovačního prostředí (např. transfer technologií ve veřejných výzkumných institucích a jeho strategie).

8. Analýza produktu

8.1. Definování produktu a služeb

Produkt můžeme definovat následovně:

- Výrobek je cokoli, co lze na trhu nabídnout, co získá pozornost, co může sloužit ke spotřebě, co může uspokojit přání nebo potřebu.
- Produkt je vyráběný statek s objektivními a subjektivními vlastnostmi, které jsou manipulovány pro maximalizaci apelu zboží na spotřebitele, kteří položku nakupují, a aby uspokojil jejich potřeby.
- Produkt/výrobek můžeme definovat jako vše, co můžeme nabídnout ke koupi, k použití ke spotřebě – co uspokojuje PPO (potřeby, požadavky, očekávání) potenciálních a stávajících zákazníků.

Pojem služba jako ekonomická kategorie je definována jako

- druh produktu, kterého podstatou je činnost-výkon a hodnota je určena užitkem, který přináší spotřebiteli jako výsledek žádané změny. Při produkci služeb nedochází k převodu vlastnictví.
- Při vymezení pojmu služba se zákonitě setkáváme s pojmem produkt. Je to výsledek činnosti, který má hodnotu pro zákazníka, jelikož uspokojuje jeho potřeby. Službou však chápeme i pracovní výkon, při kterém jako finálním produktu rozlišujeme složky:
 - proces (vytváření, dodávka, poskytování)
 - a výsledek (procesu).

8.2. Analýza poptávky po produktu u cílových skupin

Existují různé metody analýzy a syntézy informací o trhu, na který jsou produkty a služby směřovány.

Z analýzy trhu však musí vyplynout jasné závěry týkající se zejména následujících faktorů:

- velikosti nabídky a poptávky,
- potřeb a vlastností cílových subjektů (potenciálních zákazníků),
- významu konkurence, resp. alternativ uspokojování zjištěných potřeb.

Analýza musí zodpovědět zejména následující otázky:

- Kdo je cílovým zákazníkem resp. uživatelem služeb a produktů?
- Jak vysokou poptávku po službách lze očekávat?
- Jaké jsou alternativní dostupné způsoby, kterými může cílový uživatel své potřeby realizovat?
- Jak vysokou cenu je ochoten klient za daný výrobek zaplatit?

Analýza aktuální nabídky musí zodpovědět zejména následující otázky:

- Existuje konkurence, tržní podíl konkurence?
- Jak náročný je přechod od jednoho poskytovatele k jinému?

8.3. Marketingová strategie

Marketingová strategie musí obsahovat:

- Poslání daného produktu nebo služby - jedná se o prezentaci základních činností a funkcí ve vztahu k trhu resp. potenciálním uživatelům projektu
- Hlavní strategický cíl - stav, kterého má být dosaženo prostřednictvím realizace služeb,
- Zvolené strategie - zvolená schémata pro postup, jakým mají být hlavní cíle dosaženy.

8.4. Marketingový mix

"Marketingový mix" představuje vztah zamýšleného produktu a trhu ze čtyř základních aspektů (čtyři "P"):

- **Product** ("CO" - Výsledný výrobek nebo služba) - popis produktů a služeb a upřesnění potřeb, k jejichž uspokojení má ten který produkt sloužit.
- **Price** ("ZA KOLIK" - Cena a cenová politika) - rozhodnutí, za jaké ceny budou jednotlivé výrobky a služby poskytovány.
- **Place** ("KDE" - Místo realizace produktů či služeb) - popis distribučních cest, kterými se dostávají produkty a služby od poskytovatele ke spotřebiteli.
- **Promotion** ("JAK" - Propagace - komunikační mix) - podrobný popis veškerých komunikačních kanálů, které budou v rámci propagace služeb využívány.

Rozhodnutí obsažená v každém z uvedených bodů jsou do značné míry ovlivňována rozhodnutími bodu předchozího.

8.5. Specifikace požadavků produktu

Obsahuje detailní informace potřebné pro vytvoření návrhu (designu) produktu. Tyto detaily by měly být specifikované po jednotlivých funkcích systému, splňovat vlastnosti uvedené dále v kvalitativních charakteristikách výrobku.

Požadavky je možné klasifikovat např. do kategorií:

- požadavky na funkce
- požadavky na výkonnost
- požadavky na vlastnosti (atributy)

Východiska pro specifikaci požadavků

- poznání uživatelských potřeb
- poznání podnikových procesů a pravidel (business rules)
- analýza používaných dokumentů

Vlastnosti kvalitní specifikace:

- kompletnost (má obsahovat všechny požadavky)
- konzistence (nerozpornost - jednotlivé požadavky si nesmí odporovat navzájem)
- parametrizace požadavků (požadavkům jsou přiřazeny kvantitativní a kvalitativní atributy)
- kategorizace uživatelů

- stejná úroveň detailu (v případě potřeby je možné dokument strukturovat do dalších úrovní)
- kontrolovatelnost

Druhy požadavků

- Funkční požadavky představují základní předmět systému a jsou měřeny konkrétními prostředky, jako jsou například hodnoty dat, logika a algoritmy rozhodování. Funkční požadavky specifikují, co má produkt dělat.
- Nefunkční požadavky představují vlastnosti v oblasti chování, které musí mít stanovené funkce jako například výkonnost, uživatelnost atd. Nefunkčním požadavkům lze přiřadit konkrétní metodu měření. Tento vzor uvádí příklady kvantifikace nefunkčních požadavků. Nefunkční požadavky specifikují, jaké vlastnosti má produkt mít.
- Projektová omezení určují, jak lze konečný produkt aplikovat v reálném světě. Například produkt musí využívat určité rozhraní nebo využívat stávající hardware, software nebo vyhovovat obchodním zvyklostem, musí se vejít do stanoveného rozpočtu i být připraven k předem stanovenému termínu.
- Projektové stimuly představují síly související s obchodní činností. Například účel produktu představuje projektový stimul, stejně tak jako všechny zúčastněné osoby na projektu – z nichž se ovšem každá projektu účastní z různých důvodů.
- Projektové otázky určují podmínky, na jejichž základě bude projekt vypracován. Tyto požadavky zahrnujeme do stanovení požadavků tak, abychom vám předložili celkový obrázek všech hledisek, které přispívají k úspěchu nebo neúspěchu projektu.

8.6. Hodnota produktu pro zákazníka

- KOTLER, Philip ve své publikaci Marketing management, definoval hodnotu pro zákazníka jako **spotřebitelskou přidanou hodnotu**, což znamená **rozdíl mezi celkovou spotřebitelskou hodnotou** (soubor užitků, které spotřebitel od výrobku či služby očekává) a **celkovou spotřebitelskou cenou** (soubor nákladů, které musí zákazník vynaložit).
- Hodnota je vždy **subjektivní záležitostí**, neboť jde spíše o to, jak zákazník výrobek nebo službu vnímá, než že by ji bylo možné určit objektivně prodávajícím. Toto vnímání produktu zákazník porovnává s tím, co musí obětovat, zaplatit.

Proces poskytování hodnoty

- Volba hodnoty. Jedná se o fázi, která musí proběhnout dříve, než vznikne jakýkoliv výrobek. Marketing musí provést segmentaci trhu, vybrat vhodný cílový trh a nalézt tržní umístění nabízené hodnoty. Segmentace, zaměření a tržní umístění je podstatou strategického hodnotového marketingu.
- Poskytnutí hodnoty. Marketing musí v této fázi rozhodnout o vlastnostech (přínosech) výrobku, cenách a distribuci každého z nich.
- Sdělování hodnoty. Úkolem této fáze je využívání síly osobního prodeje, podpory prodeje, reklamy a dalších instrumentů k ohlášení a následné propagaci výrobku.

8.7. Koloběh hodnot

Koloběh hodnot vyjadřuje to, co my a náš podnik poskytujeme zákazníkům a co oni naopak poskytují našemu podniku.

- **Firma – zákazníkovi:**
 - Produkt, kvalitu, podporu prodeje, poradenství, balíčky služeb.....
- **Zákazník firmě:**
 - Finanční úhradu, loajalitu, věrnost, doporučení
- **Firma – zaměstnanec:**
 - Zázemí, jistotu, pracovní příležitost, odměnu, motivaci, ochranné pracovní pomůcky
- **Zaměstnanec firmě:**
 - Vědomosti, splnění plánů, loajalitu

8.8. Fáze hodnotového procesu

Jedná se o nekončící proces neustálého odhalování hodnoty výrobku či služby pro zákazníka;

- přizpůsobování podnikové, zejména marketingové strategie těmto zjištěním;
- vytváření požadované hodnoty (resp. Nejen požadované, ale i očekávané, resp. nad rámec očekávání inovativní, kreativní);

- vyhodnocení zpětné vazby od zákazníka a na základě zjištěných faktů úprava a implementace do podnikových procesů;

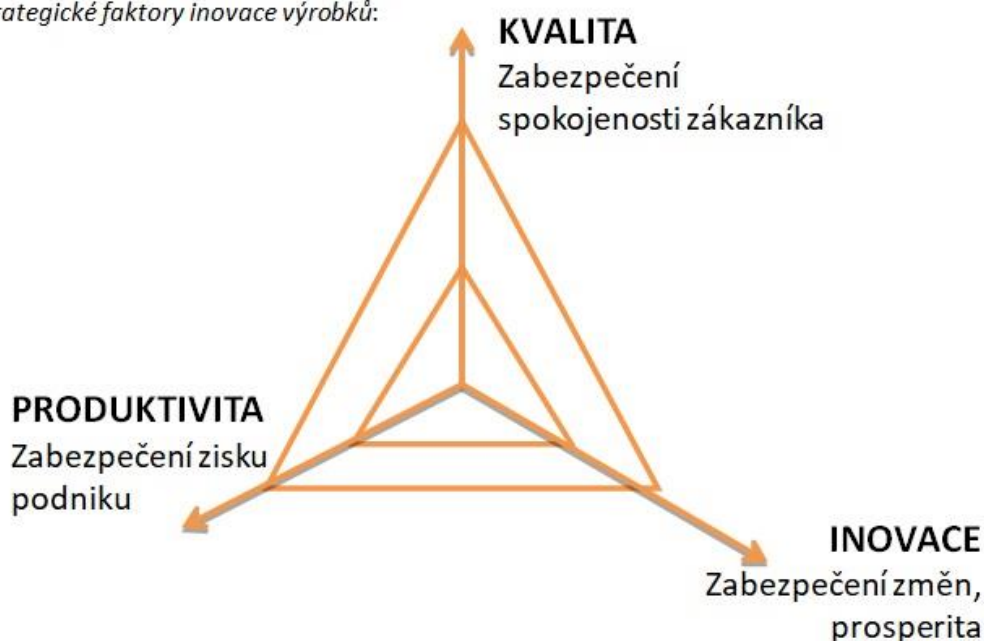
Pokud podnik neuznává a neuplatňuje principy hodnotového managementu, nemůže v dnešním velmi silném konkurenčním prostředí dlouhodobě přežít.

9. Inovace výrobků

9.1. Příprava a plánování nových výrobků

Dominantní postavení výrobku v podnikání vyplývá z toho, že je prostředkem uspokojování potřeb zákazníků a prostřednictvím prodeje výrobků se dosahují příjmy z podnikání. Nové výrobky jsou všeobecně považované proto za "životodárnou krev podnikání".

Strategické faktory inovace výrobků:



Význam pečlivé přípravy a plánování výrobků podtrhují také tyto faktory:

- vysoká konkurence na trhu všech druhů výrobků,
- neustále zrychlování inovačních cyklů,
- velký potenciál variabilnosti výrobků,
- vliv výrobků na produktivitu, kvalitu a konkurenceschopnost podnikání,
- výrobek je integrační složkou podnikatelských aktivit,
- náročnost a rizika vývoje nových výrobků.

V podnikání je význam výrobků často podceňován. Jako příčiny neúspěšnosti podnikání se často uvádí nedostatek úvěrů, vlastnické vztahy, staré stroje, management apod.

Primárními příčinami neúspěšnosti jsou:

- výrobky neodpovídají potřebám zákazníků,
- výrobky jsou materiálově a energeticky náročné a mají vysokou pracnost,
- výrobky jsou nekvalitní, zastaralé, nezajímavé, špatně dostupné apod.,
- výrobky jsou vyráběny zastaralou technologií a neekonomicky.

9.2. Klasifikace výrobků

Výrobky se klasifikují podle více charakteristik. Identifikace druhu výrobku je potřebná na poznání systémových vztahů v podnikání a při řízení vývoje.

- **Oborová příslušnost výrobku:** Hovoří o konstrukční příbuznosti hlavní technologie, oblasti používání, normách apod. Např.: elektrotechnické výrobky, nástroje, automobily, výrobní stroje apod.
- **Použití výrobku:** Např.: spotřební výrobky, výrobní zařízení komponenty apod.
- **Životnost výrobku:** Výrobky krátkodobé a dlouhodobé spotřeby, sezónní výrobky apod.
- **Technologická charakteristika:** Klasické výrobky, technologicky náročné výrobky (high-tech)
- **Způsob výroby:** Hromadné, sériové, zakázkové výrobky, standardní/nebo speciální výrobky

Podle úrovně odlišení výrobků se používají:

- **kategorie** - vymezuje hlavní funkci,
- **forma** - vymezuje důležité vlastnosti,

Podle vztahu k výrobnímu sortimentu se rozlišují

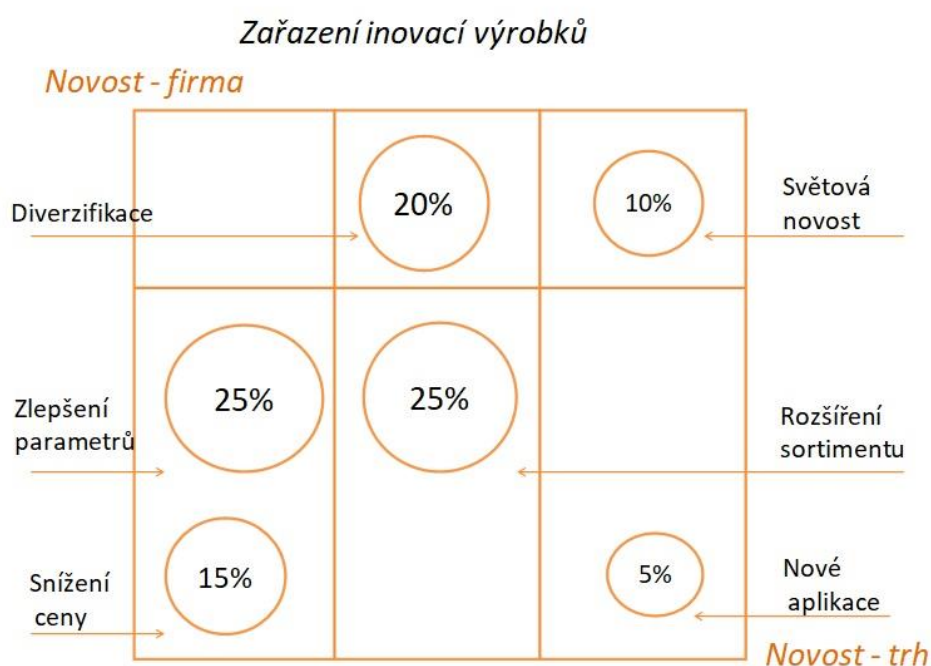
- **Základní výrobek** - reprezentant, který splňuje potřeby očekávané zákazníkem a působí jako standard
- **Rozšířený výrobek** - vyznačuje se dodatečnými vlastnostmi
- **Výrobní linie** - soubor výrobků dané skupiny odlišující se určitými vlastnostmi
- **Potenciální výrobek** - budoucí výrobek se zlepšenými parametry

9.3. Postup přípravy nového výrobku

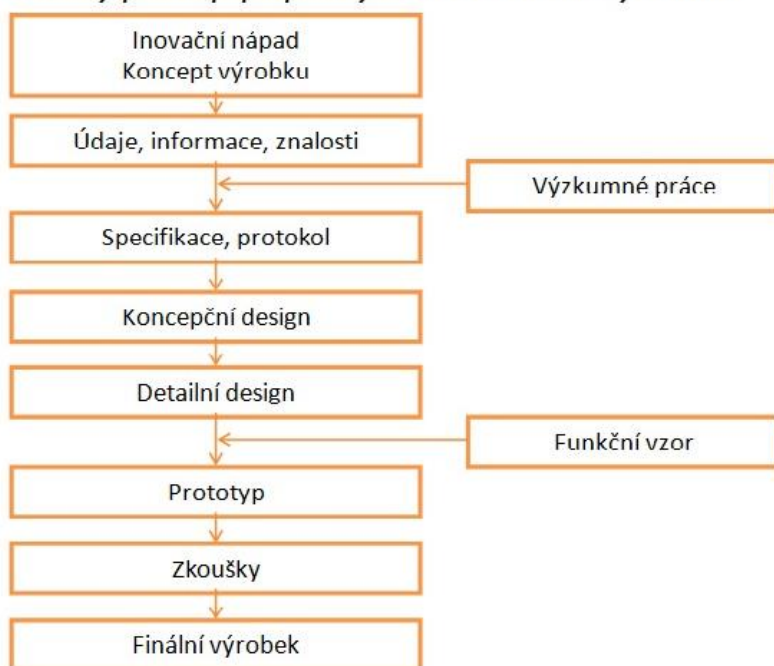
Jako příklad metodiky přípravy nových výrobků uvádíme klasifikaci podle Crawforda C.M., (1996):

- Tvorba výrobních idejí
- Koncept výrobku
- Testování konceptu
- Vypracování protokolu (specifikace výrobku)
- Prototypy výrobku
- Testování prototypů
- Pilotní výrobky
- Sériové výrobky

Důležitou charakteristikou při přípravě inovaci výrobků je lokalizace inovačního projektu podle tržové pozice a úrovně novosti.



Celkový postup přípravy inovovaného výrobku



9.4. Etapy inovace výrobků - Specifikace výrobku

Existují dva hraniční případy specifikace výrobků:

1. **Specifikace je jednoznačně daná** - Příkladem je jednoznačná objednávka zákazníka u zakázkových výrobků. Specifikace se omezuje na kontrolu reálnosti parametrů, resp. jejich změny ve stanovených limitech.
2. **Specifikace je úplně neurčitá** - Typický příklad pro významné inovace. V tomto případě specifikace může být nejdůležitější fází tvorby výrobku.

Aby specifikace splňovala cíle, musí se dotýkat všech atributů výrobku, tj. **specifikací parametrů**:

- funkčních
- ekonomických
- technologických a materiálových
- legislativních
- marketingových
- rozvojových

9.5. Design (konstrukce) výrobku

Konstrukce výrobku se někdy nesprávně považuje za celý vývoj, protože do této fáze se soustřeďuje velký rozsah prací. Obvykle se rozlišuje koncepční projekt a detailní konstrukce výrobku.

Typické koncepční konstrukční řešení:

- skladba výrobku - základní tvary a hlavní části a jejich vztahy,
- rozdělení funkcí a jejich hlavní nosiče – materiály, součástky, rozměry, výpočty pevnosti,
- funkční schémata
- přenos energie, pohybu sil
- prostorové uspořádání
- principy řízení a ovládání
- fyzické modely na ověření principů

Typické detailní konstrukční řešení

- součástky, prvky, uzly
- standardizace,
- rozměry, tvar, tolerance,
- technologičnost,
- přesnost, rozměrové obvody,
- spolehlivost,
- materiály,
- povrchové úpravy,
- servis, zařazování.

9.6. Zkoušky u vývoje výrobků

Podobně jako jiné oblasti i testování a zkoušení prochází dynamickým vývojem, kterého hnací síly jsou:

- zkrácení času vývoje nových výrobků,
- snížení nákladů na testování a zkoušky,
- obohacování zkoušek o nové atributy (např.. environmentalistika, bezpečnost, komfort používání),
- snížení rizika neodhalených slabých míst výrobku v celém životním cyklu,
- kompatibilita testů v mezinárodním měřítku a certifikace,
- nové technologie testování (osobitní infiltrace informačních a komunikačních technologií).

Etapy inovačního cyklu	Funkce zkoušek
Výrobová idea	Ověření funkčního principu Získání základních poznatků pro koncepční řešení
Koncept výrobku	Stanovení hlavních parametrů výrobku Rozhodování o variantech řešení Informace pro rozhodnutí o realizaci
Vývoj výrobku Konstrukční řešení	Údaje pro detailní konstruování, podpora řešení pevnostních, rozměrových, funkčních, provozních a jiných charakteristik
Prototyp	Ověření inovačního řešení Informace pro zlepšení výrobku a pro technologickou přípravu výroby
Finální výrobek	Zkoušky předepsané zákazníkem resp. normami
Výroba	Zkoušky pro zlepšení technologičnosti Příprava kontinuálních inovací
Ukončení životnosti výrobku	Informace pro recyklaci výrobku

9.7. Konkurenceschopnost inovovaných výrobků

Hodnocení a zlepšování konkurenceschopnosti výrobku je spojené se značným počtem atributů (desítky až stovky podle složitosti). Pro účely analýzy je nutné realizovat 3 skupiny atributů výrobku:

- Funkce výrobku (vztah k zákazníkovi)
- Znamky výrobku (vztah k samotnému výrobku)
- Výhody (vztah k podnikání jako celku)
-

Funkční parametry výrobku:

- podle univerzálnosti
 - specifické pro danou kategorii výrobku (rychlost, objem, atd.)
 - univerzální (životnost, spolehlivost, cena)
- podle výrobové linie
 - **základní** – určující funkce
 - **doplňkové** – dodatečné hodnoty k základním funkcím
 - **podpůrné** – nejsou podstatné pro existenci výrobku, ale zlepšují trhový potenciál

Marketingové parametry výrobku:

Tato skupina parametrů vytváří výchozí podmínky pro budoucí prodej výrobků. **Typické příklady:**

- cenový limit a možnost modifikování pro různé zákaznické segmenty (image výrobku, znaky osobitosti)
- vliv na distribuční systém (čas dodávky, místo modifikace)
- provedení výrobku (nízká, průměrná, výrobní, špičková úroveň)
- styl (dojem, kterým výrobek působí na zákazníka).

Technologické parametry výrobku:

- materiálová náročnost
- vyvolané investice
- energetická náročnost
- technologičnost
- pracnost výroby
- montovatelnost
- vliv na využití kapacit
- podíl normalizovaných dílců
- manipulovatelnost

10. Inovace výrobních systémů

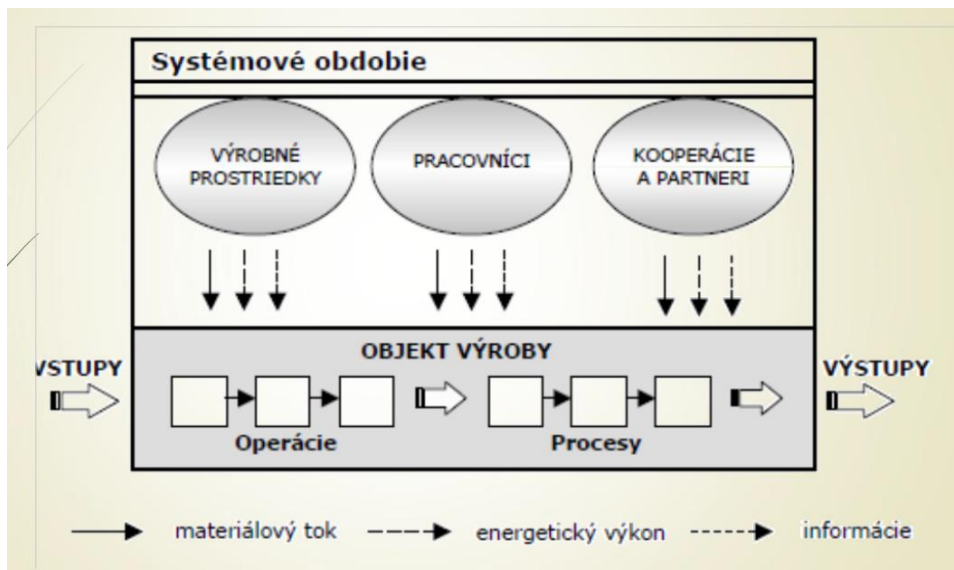
10.1. Metodické aspekty

Výrobní systém je uspořádaný soubor zdrojů, jejichž funkcí je transformace vstupů (suroviny, polovýrobky, energie, atd.) na požadované výstupy (výrobky a služby).

Hlavní složky:

- objekty na kterých se vykonávají požadované transformace (materiál, součástky, atd.)
- aktivní činitele (operátory), které vykonávají transformaci tj. lidé, stroje, přístroje, fyzikální prostředí,
- procesy prostřednictvím kterých dochází ke změnám tvaru, rozměrů, konfiguraci, místa, atd.)
- vstupy a výstupy, tj. složky, spojení s okolím,
- toky materiálu, energie a informací, které vytvářejí celkovou architekturu systému a spojují jeho složky do celku,
- pomocné složky, které se přímo nepodílejí na výstupech, ale zabezpečují provozuschopnost systému (údržba, nářadí, atd.)
- prostor a čas jako nevyhnutelné atributy každého systému.

10.2. Model výrobního systému



Pro plánování inovací výrobních systémů je důležité rozlišit varianty systémů. Základní klasifikace je:

- **Objekty výroby**
 - materiálově-náročná výroba
 - zpracovatelská výroba
 - zákaznická výroba
 - high-tech výroba

- **Dominantní technologie**
 - změna tvaru, rozměrů a vlastnosti materiálů
 - změna struktury, technologické zpracování a montáž
 - změna polohy a orientace (logistika)
 - zpracování informací (služby)

- **Objemy produkce**
 - kusová výroba
 - sériová výroba (výroba v tisících kusech)
 - hromadná výroba (10 tisíc a víc)

- **Oborová příslušnost a výroba**
 - výroba dopravních prostředků
 - výroba strojů a zařízení
 - výroba spotřebního zboží

- **Komplexnost a sortiment**

- součástková specializace
- agregátová specializace
- výrobní specializace
- diverzifikované výroby

Hlavní úlohy u inovací výrobního systému

- Určení celkové produkční kapacity systému.
- Rozdělení kapacity do funkčních celků, nebo technologických jednotek
- Projektování transformačních procesů (technologie).
- Specifikace výrobních prostředků (technika, lidé) pro realizaci technologie v jednotlivých složkách.
- Určení, co se bude produkovat a co nakupovat.
- Celkové uspořádání systému, tj. vstupy, výstupy, materiálové, energetické a informační toky.

Některé další důležité parametry výrobních systémů:

- úroveň automatizace
- spojitost procesů
- úroveň standardizace
- úroveň specializace
- řízení
- ekologický vliv

10.3. Postup u inovace produkčních systémů

Fáze tvorby

- Analýza požadavků a stanovení specifických cílů.
- Řešení soustavy transformačních procesů.
- Určení kapacit výrobních zdrojů.
- Detailní rozbor operací, postupů a technologií.
- Prostorové uspořádání výroby.
- Organizace a řízení výroby.
- Projektová dokumentace.

Fáze realizace

- Příprava prostorů a sítí infrastruktury.
- Dodávky technických zařízení a montáž.
- Integrace produkčního systému.
- Oživení funkční činnosti a zkoušky.
- Příprava pracovníků, zaškolení.
- Zkušební provoz.
- Trvalý provoz, údržba a rozvoj.

10.4. Inovace technologií

Technologie je definovaná jako soubor procesů, zákonitostí, pravidel a návyků používaných při výrobě různých druhů produkce v libovolné sféře výrobní činnosti. Technologie v podstatě určuje způsoby přeměny surovin, materiálů a polovýrobků na hotové výrobky pro trh.

Hlavní složky výrobního systému:

- **Technologické zpracování**
 - změna geometrických, fyzikálních a jiných vlastností objektů výroby (postupnost změn objektů).
- **Manipulace**
 - změna místa, orientace a fixace objektů (materiálový tok)
- **Řízení, zpravování informací**
 - činnosti související s koordinací, synchronizací a optimalizací výroby (informační tok).

Požadavky na **inovace technologie** pro moderní zákaznický orientovanou výrobu jsou:

- podstatné zvýšení produktivity a kvality
- úspora ve spotřebě zdrojů (práce, materiálu, energie a kapitálu)
- pružnost výrobního systému
- šetření životního prostředí a používání recyklovatelných materiálů
- předpoklady pro vysokou pracovní kulturu (eliminace těžké, nebezpečné, monotónní a jinak nevhodné práce)
- inovace na operační úrovni technologického zpracování
- využití potenciálu globalizace
- orientace na nízkoodpadové a energeticky nenáročné technologie

10.5. Operační inovace

Eliminace kritických operací

- Operace, ve kterých vznikají nekvalitní výrobky
- operace časově dlouhé způsobující nesynchronnost
- operace s vysokými náklady
- operace způsobující často poruchy a prostoje výroby

Optimalizace operačních postupů

- sled operací bez smyček
- minimální výrobní náklady
- integrace technologických, manipulačních a informačních složek v technologickém postupu

10.6. Inovace na bázi automatizace a ekologizace

Automatizace je proces, ve kterém je fyzická a duševní činnost člověka nahrazovaná činností technických prostředků. Novější definice považují automatizaci za technologii, která používá programové instrukce a zařízení na vykonání daných procesů, přičemž zpětná vazba informací zabezpečuje správné vykonání instrukcí.

Číslicově řízení stroje (NC a CNC), průmyslové roboty a automatické manipulátory, pružné dopravní systémy a jejich integrace do automatizovaných buněk, systémů a závodů představují nejvýznamnější směr inovace výrobních systémů.

Přínosy automatizace jsou:

- Snížení pracnosti
- Stabilita kvality
- Zvýšení úrovně řízení
- Synchronizace operací
- Úspory materiálů a energie

10.7. Nízkoodpadové a energeticky nenáročné technologie

Úspora materiálů

- Používání nových materiálů (nedeficitní, levnější, s vyššími užitkovými vlastnostmi a lepší recyklovatelností).
- Používání ušlechtilých materiálů (legované, tepelně zpracované, složené) s nižší hmotností pro dané funkce.
- Používání polovýrobků s lepšími výchozími vlastnostmi (např. přesné tlakové odlitky).
- Používání technologií s úsporami nástrojů a přípravků.
- Recyklování odpadů přímo do výrobního procesu.
- Renovace nástrojů a opotřeбенých prvků zařízení.
- Snížení podílu neopravitelných zmatků.

Úspory energie

- Výběr materiálů a technologií se zohledněním energetické náročnosti.
- Regulace výkonů podle zatížení, automatické vypínání strojů apod.
- Snižování tření (řezné kapaliny, mazadla) tepelná izolace apod.
- Využívání odpadního tepla pro technologické zpracování.

11. Podnikatelský záměr

11.1. Plán realizace projektu

Realizační fáze začíná rozhodnutím o přijetí projektu, následuje zpracování technické dokumentace, vyjednávání a uzavírání kontraktů, vlastní investiční výstavba a až na konci stojí zahájení provozu výrobní jednotky. Všechny tyto fáze obsahují desítky až tisíce dílčích činností a aktivit, které je třeba vzájemně skloubit a koordinovat.

- Plán realizace projektu by měl především stanovit
- Aktivity, které je třeba zabezpečit
- Termíny, ve kterých je třeba dokončit aktivity
- Osoby odpovědní za realizaci jednotlivých aktivit
- Zdroje, které bude realizace aktivit vyžadovat
- Výsledky, ke kterým měly vést jednotlivé aktivity
- Vzájemné vztahy a závislosti aktivit
- Aktivity, jež jsou pro úspěšnost projektu kritické a kterým je třeba věnovat zvýšenou pozornost

11.2. Osnova podnikatelského záměru

- Podnikatelský záměr (PZ) je klíčovou částí předkládaného projektu – měl by popisovat s dostatečnou přesvědčivostí všechny významné body projektu. Proto by měl být hlavním vodítkem jak pro žadatele, tak i pro osoby, které budou rozhodovat o přijetí či nepřijetí projektu.
 - Doporučená osnova podnikatelského záměru je navržena tak, aby v PZ našel hodnotitel odpověď na všechny otázky, které jsou z pohledu hodnocení projektu významné. PZ by neměl obsahovat údaje, které budou požadovány v žádosti (identifikační údaje o projektu aj.), ale žadatel by se na ně měl v příslušných kapitolách odkázat.
 - PZ by neměl přesáhnout 30 obsahových stran textu.
- A) **Stručný souhrn obsahu projektu** – max. 3 strany (nejdůležitější fakta včetně popisu umístění projektu)

B) Potřebnost a závažnost projektu

- obor zaměření činnosti Žadatele z hlediska technologické vyspělosti produktů
- místo realizace projektu,
- očekávaný stupeň inovace výsledků VaV
- má projekt vztah k ochraně či zlepšení životního prostředí? Povede projekt k regeneraci „brownfields“?
- popis současné pozice a podoby Žadatele:
- popis inovačního procesu Žadatele a jeho historický vývoj;

C) Přípravenost žadatele k realizaci projektu

- uskutečnitelnost projektu ve vazbě na popis investičních projektů a jejich financování, realizovaných žadatelem v uplynulých 3 letech, charakter zajištění organizace realizace projektu
- charakteristika funkcí dílčích celků
- výčet veškerého pořizovaného dlouhodobého hmotného a nehmotného majetku pro VaV z prostředků projektu ve vazbě na rozpočet projektu, včetně uvedení jejich technických parametrů a předpokládané maximální ceny;
- výčet plánovaných neinvestičních výdajů
- způsob zajištění kvalifikovaných lidských zdrojů
- technická proveditelnost realizace projektu, návaznosti etap řešení
- zajištění partnerství při projektu
- opis a zařazení stávající výzkumné kapacity (útvary VaV) v organizačním schématu Žadatele, způsob jejího řízení,
- důvod založení či rozšíření a očekávaný přínos pro Žadatele

D) Přínos projektu pro další rozvoj a konkurenceschopnost žadatele

- plánovaný typ a počet výsledků VIK (výzkumná řešení, vedoucí k novým produktům a postupům, realizované výsledky VaV ve formě inovací, prototypy, postupy, patenty, licence) a jasně definované změny technických parametrů vůči stávajícím výsledkům VaV ve vazbě na jejich realizaci a uplatnitelnost na trhu
- kvantifikace a logické zdůvodnění ekonomického přínosu řešení projektu pro Žadatele,
- budoucí zapojení VIK do externích kooperací na komerční bázi
- vliv realizace projektu na budoucí vývoj Žadatele včetně potenciálních ekonomických i mimoekonomických přínosů

E) SWOT analýza projektu a reakce na slabá místa a ohrožení projektu

F) Podklady zakládající možnost bonifikace popsané ve výběrových kritériích

12. Sériová výroba a uvedení na trh, životní cyklus výrobku

12.1. Sériová výroba a uvedení na trh

Sériová výroba se uplatňuje v podnicích nejčastěji. Vyznačuje se zhotovováním vícerych výrobků za sebou v omezeném počtu (sérií) na stejných, anebo různých výrobních zařízeních.

Hlavní rysy sériové výroby můžeme shrnout následovně:

- Výrobek se svým charakterem podobá výrobku hromadné výroby, přičemž se při výrobě omezeného množství může zvýraznit individualita výrobku a pružněji se může přizpůsobit požadavkům trhu.
- Technická příprava výroby je podobná hromadné výrobě, ale není tak podrobně přepracovaná vzhledem na šířku sortimentu a rozsah výroby.
- Dělnba práce se uplatňuje v menší míře než při hromadné výrobě, co se projevuje univerzálností práce robotníků.
- Nižší je i úroveň produktivity práce.
- Výrobní proces se organizuje složitěji a nákladněji.
- Výrobky se zhotovují v sériích a součásti výrobků se zadávají do výroby v dávkách.

Podle míry opakovatelnosti dělíme sériovou výrobu na

- velkosériovou,
- středněsériovou,
- malosériovou.

12.2. Kusový typ výroby

Základním znakem charakterizujícím kusovou výrobu je neopakovatelnost jednotlivých druhů výrobků a prací, případně opakovatelnost po určitém delším časovém intervalu.

Kusová výroba se vyznačuje těmito osobitostmi:

- Jednotlivé hotové výrobky se od sebe odlišují, každý výrobek představuje nový druh zodpovídající představě budícího uživatele.
- Vzhledem na uvedenou charakteristiku si každý výrobek vyžaduje samostatní technickou přípravu výroby, která je velmi náročná, rozsáhlá a nákladná.
- Častá obměna a přestavování pracovišť, či úprava strojů, kladou zvýšené nároky na spotřebu času a přerušování práce.
- Robotníci vykonávají různorodé práce, což vede k jejich univerzálnosti, na kterou je potřebný vysoký stupeň kvalifikace.
- Nejnižší technická úroveň výroby.
- Vysoké náklady spojené se skladováním materiálu a vysokou rozpracovaností výroby.
- Nerovnoměrné využívání výrobních zařízení.

Uvedení výrobku na trh

- Z předpisů v dozorové kompetenci ČOI upravují uvádění výrobků na trh zejména zákon č. 102/2001 Sb., o obecné bezpečnosti výrobků, a zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky.

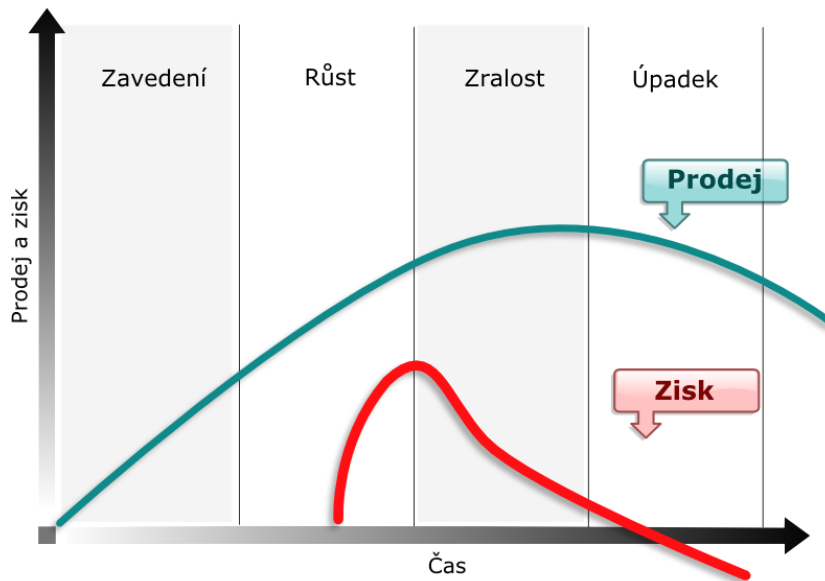
12.3. Životní cyklus výrobku

Pojem Životní cyklus produktu se používá ve dvou významech:

- Život produktu od těžby surovin, přes jeho výrobu a používání až po jeho odstranění jako odpadu. – LCA (nevěnujeme se jí v této prezentaci).
- „Život“ výrobku v podniku od fáze zavedení produktu na trh až po útlum zájmu o produkt a jeho stažení z trhu

Fáze životního cyklu výrobku graficky popisuje S-křivka

- Zavádění produktu
- Růst zájmu o produkt
- Kulminace zájmu a zralost produktu
- Útlum zájmu o produkt



Zavádění produktu

- V této fázi umísťujeme produkt na trh.
- Náklady jsou pochopitelně větší než výnosy.
- V této fázi si můžeme vybrat vhodnou strategii pro vstup na trh právě pro náš produkt z:
 - Strategie rychlého sbírání tržeb
 - Strategie pomalého sbírání tržeb
 - Strategie rychlé penetrace
 - Strategie pomalé penetrace

Fáze růstu

- Produkt nám v této fázi vynáší stále více a my naopak investujeme do výroby a udržení popularity výrobku.
- Zákazníci, kteří si koupili náš produkt, rozšiřují reklamu o něm, přes doporučení svým známým. Tato forma reklamy je pro společnost nejlepší, protože je nejúčinnější a také nic nestojí.
- V této fázi mění cenu výrobku pouze prodejci, kteří použili nízké ceny jako lákadlo v předchozí fázi.
- V této fázi financujeme modifikace našeho výrobku.

Fáze zralosti

- Je charakteristická konstantním růstem tržeb nebo jejich poklesem → výše tržeb se stabilizuje.
- Tato fáze je obvykle nejdelší v „životě“ produktu.
- Trh je přesycen naším výrobkem, reagujeme snížením ceny, aby si náš výrobek mohli dovolit i ti, ke kterým se ještě nedostal.
- Je dobré zveřejnit novou reklamní kampaň a znovu tak upozornit na náš výrobek.

Fáze útlumu produktu

- Zde se nejedná o krátkodobé snížení tržeb, ale o dlouhotrvající trend snižování tržeb.
- V tomto stádiu se již s produkcí nepokračuje, avšak zásoby výrobků na skladech se nelikvidují.
- Tyto totiž společnost využije jako náhradní díly při servisních opravách již prodaných výrobků. Tyto výrobky se doporučuje skladovat zhruba desetinásobek životnosti výrobku.

MASCHINENBAU- DEUTSCH

EINLEITUNG

Das Fachbuch „Lernmaterialien für den Bereich Maschinenbau“ wurde im Rahmen des Projekts "Methodisches Konzept zur effektiven Unterstützung von Schlüsselkompetenzen unter Verwendung einer Fremdsprache - CLIL als Lehrstrategie an einer Hochschule" mit finanzieller Unterstützung des EU-Programms INTERREG VA Österreich - Tschechien 2014 - 2020 erstellt.

Das Projekt wurde in Kooperation zweier technisch orientierten Hochschulen realisiert, dem Institute of Technology and Business in České Budějovice, Tschechien, und der Fachhochschule Oberösterreich. Eines der Hauptergebnisse des Projekts war die Erstellung didaktischer Materialien für vier Fachdisziplinen (Informatik, Logistik und Transport, Maschinenbau und Bauwesen), die an den Partnerinstitutionen in drei Sprachen unterrichtet werden sollen: Tschechisch, Deutsch und Englisch. Als Lehrmethode wurde CLIL (Content and Language Integrated Learning) gewählt, da es den Unterricht von fachspezifischen Inhalten mit einer Fremdsprache kombiniert. So sind die vorbereiteten Materialien nicht nur als Lehr- und Lernmaterial für Lehrende und Studierende an den oben genannten Hochschulen von großer Bedeutung, sondern können auch von Personen bestimmter Fachbereiche und Mitarbeitenden von Unternehmen im Grenzraum genutzt werden, die so die Möglichkeit haben ihre fachlichen Sprachkenntnisse zu verbessern.

Bei der Aufbereitung der Materialien waren sowohl Lehrende aus den Partnerinstitutionen als auch Praktiker*innen und Expert*innen aus beiden Grenzregionen beteiligt. Die Materialien im Bereich Maschinenbau wurden von Lehrenden beider Partnerhochschulen gemeinsam erstellt. Die jeweiligen Themen wurden in Zusammenarbeit mit Expert*innen ausgewählt. Im Zuge dessen wurden insgesamt zwölf Themenbereiche identifiziert und erstellt: Einführung in die Maschinenbautechnik, Maschinenbau 1, Maschinenbau 2, Maschinenbau 3, Technologie des Druckgießens von Metallen, Form und Gussteile, Maschinenelemente und Mechanik, Materialien der Maschinenbauindustrie, Maschinenbetrieb und -wartung, Blechverarbeitung, Statik sowie Innovationsprozesse. Die Themen wurden so gewählt, dass sie den Bedürfnissen der Praxis entsprechen und ein möglichst breites Spektrum abdecken, von den Grundlagen und der Theorie bis hin zu spezifischen Fragestellungen. Darüber hinaus ist jedes der Themen in Unterkapitel unterteilt, so dass es möglich ist, die Module als Ganzes zu lernen oder nur bestimmte Kapitel zum (Selbst-)Studium auszuwählen. Die vorbereiteten Materialien sind online verfügbar, so dass Studierende und Lehrende die Inhalte und Materialien nach spezifischen Bedürfnissen eigenständig zusammenstellen können.

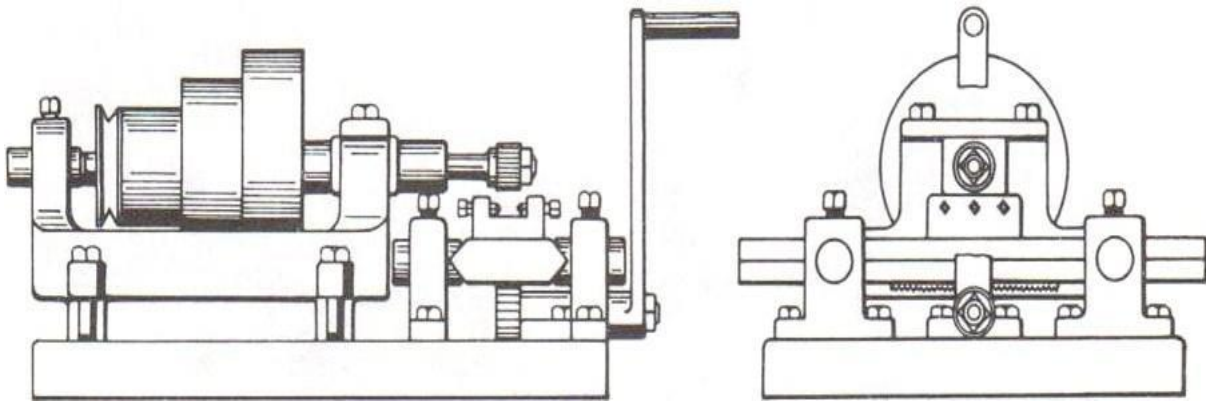
Die Lehr- und Lernmaterialien wurden, wie bereits erwähnt, in drei Sprachen erstellt. Jeder Themenbereich wurde anschließend von Linguist*innen übersetzt und bearbeitet, um den Prinzipien der CLIL-Methode zu entsprechen und nicht nur den Erwerb von fachlichen, sondern auch sprachlichen Fähigkeiten zu ermöglichen. Derzeit scheint die Kenntnis einer Fremdsprache entscheidend für die Suche nach einem geeigneten Arbeitsplatz in der Grenzregion zu sein. Diese Publikation kann somit nicht nur für Lehrende und Studierende, sondern auch für Absolvent*innen und Mitarbeitende von Unternehmen der jeweiligen Disziplinen innerhalb und außerhalb des grenzüberschreitenden Raums dienen, was einen erheblichen Mehrwert darstellt.

EINFÜHRUNG IN DIE MASCHINEN-BAUTECHNIK

1. Einführung in die Ingenieurtechnik

- Eine einfache Schleifmaschine erschien 1480. Der Antrieb erfolgte mit einem Pedal und einer Kurbel mit einer Pleuelstange.
- 1565 erschien die erste Bügelmaschine, gefolgt von einem Wasserbohrer (1684).
- Einzelne Maschinen haben sich verbessert, z.B. erschien nach 1800 eine Metall-drehmaschine mit einer Halterung, die es ermöglichte, Gewinde zu schneiden.

1818 wurde die erste Fräsmaschine von S. Mortha gezogen.



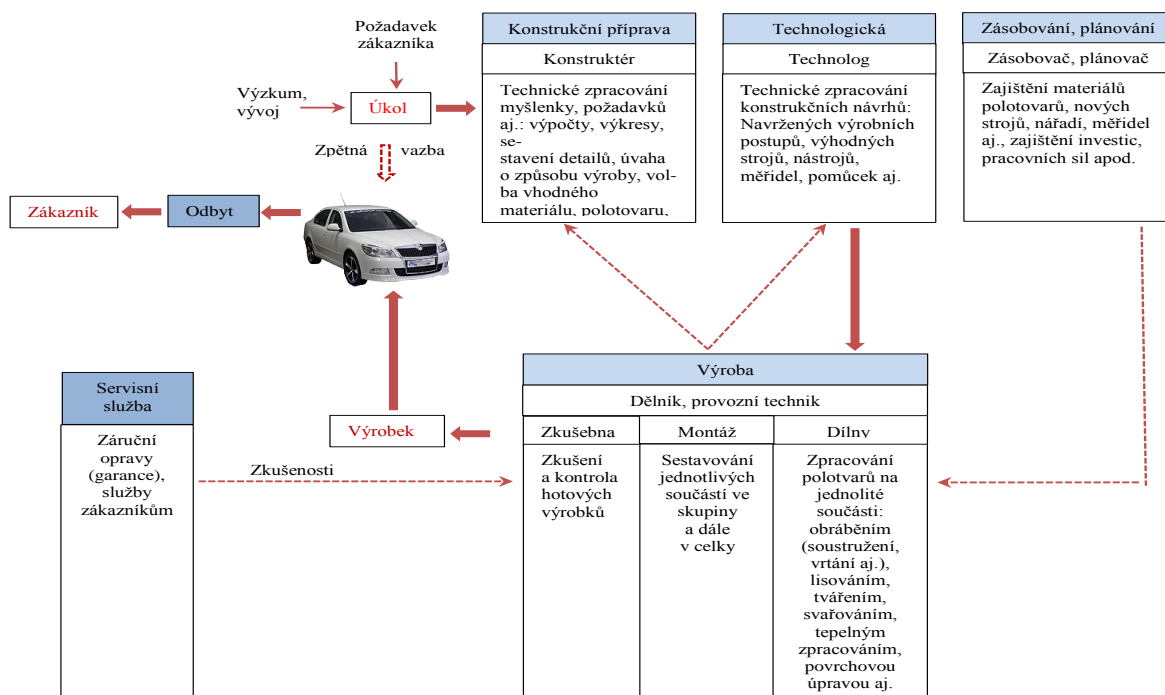
1.1. Ingenieurwesen Technologie I.

- Ist ein einführendes Fach, das eine einführende Erklärung der im Maschinenbau verwendeten Technologie liefert. Eine detailliertere Einführung in die Ingenieurwissenschaften wird in weiteren Fachkursen des Fachbereichs Maschinenbau gegeben.
- Die **Metallurgie** beschäftigt sich mit dem Management von Rohstoffen über das Material und seine Eigenschaften. Dieser Teil der Technologie gliedert sich in Schwermetallurgie und Technische Metallurgie. Die Schwermetallurgie beschäftigt sich mit der Herstellung von Eisen- und Nichteisenmetallen aus Erzen, pulverförmigen Metallen und der Verwaltung von hergestellten Metallen auf Halbzeugen (Bleche, Stangen, Drähte usw.).
- Die **Metallurgie im Maschinenbau** ist gekennzeichnet durch die Herstellung von Halbfabrikaten durch Gießen, Formen, Wärmebehandlung (Veränderungen in der inneren Struktur des Materials wie Härten, Salzen, Anlassen) und nicht freisetzba-

res Fügen von Materialien (Schweißen, Löten).

- Die **Bearbeitungstechnologie** befasst sich mit Bearbeitungs-, Montage- und Oberflächenbehandlungstechnologien.
- Die **Technologie der Oberflächenbehandlung** wird durch die Veränderung des Aussehens des Produkts oder der Oberflächeneigenschaften erreicht.

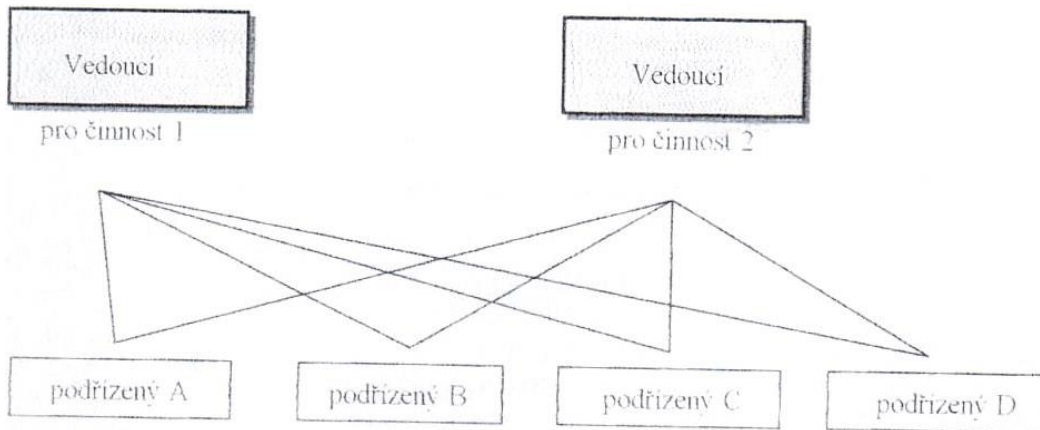
1.2. Vorbereitung und Organisation der Produktion



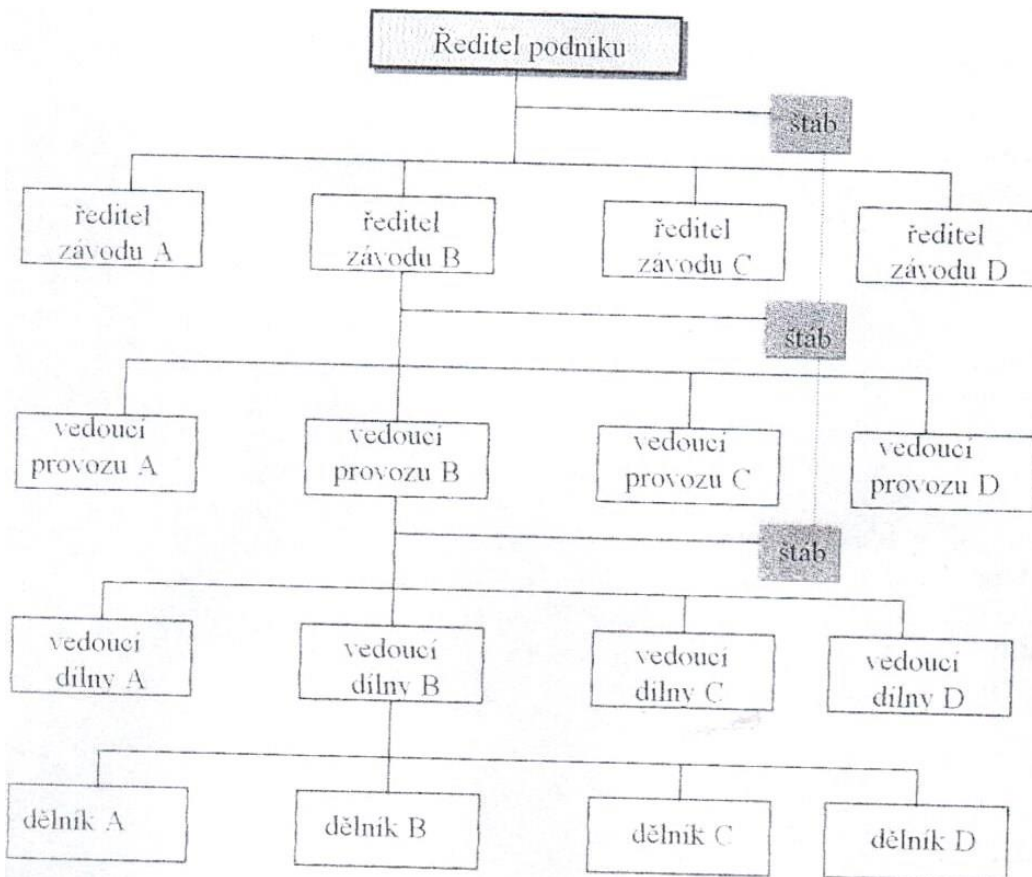
1.3. Unternehmensstruktur des Unternehmens

- Funktional mit mehrfacher Unterordnung
- Personal
- Divisional
- Kombiniert

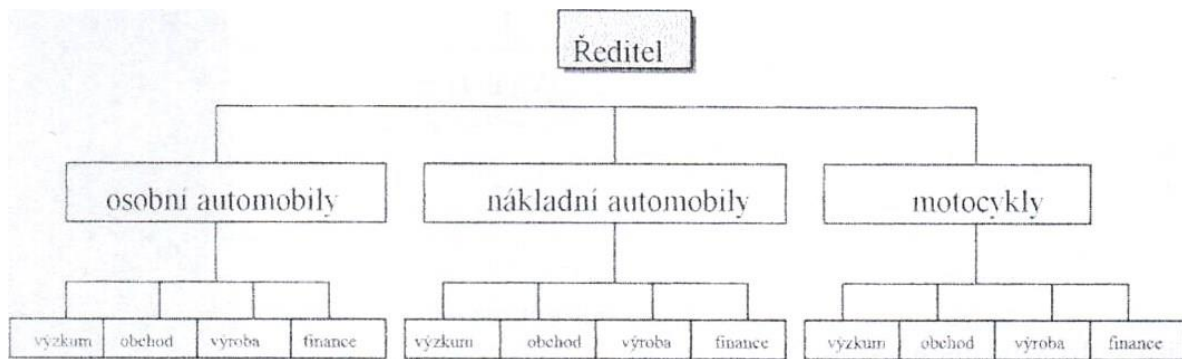
Funktional mit mehrfacher Unterordnung



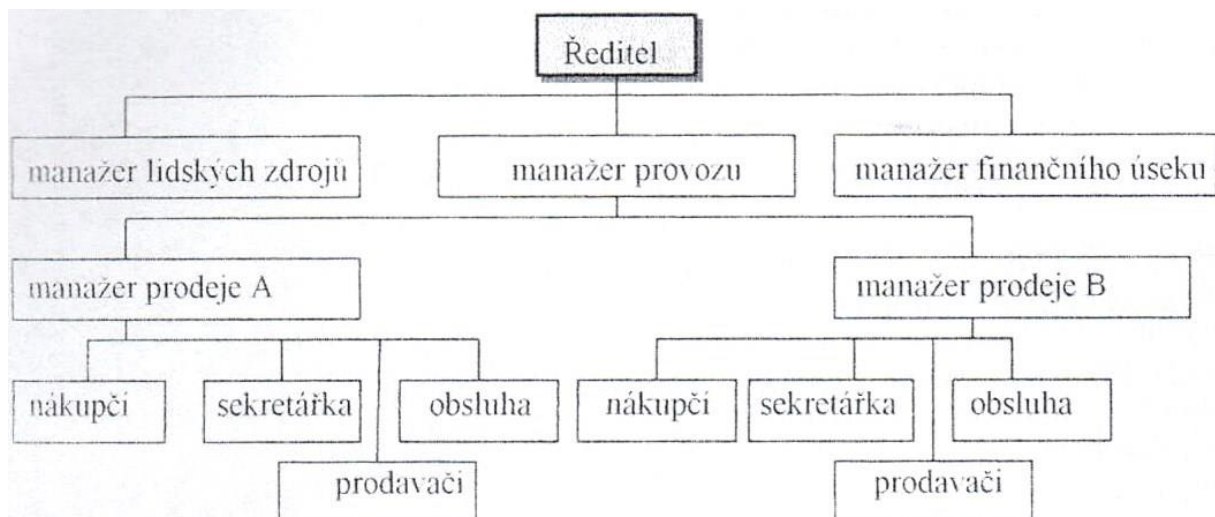
Personal



Divisional



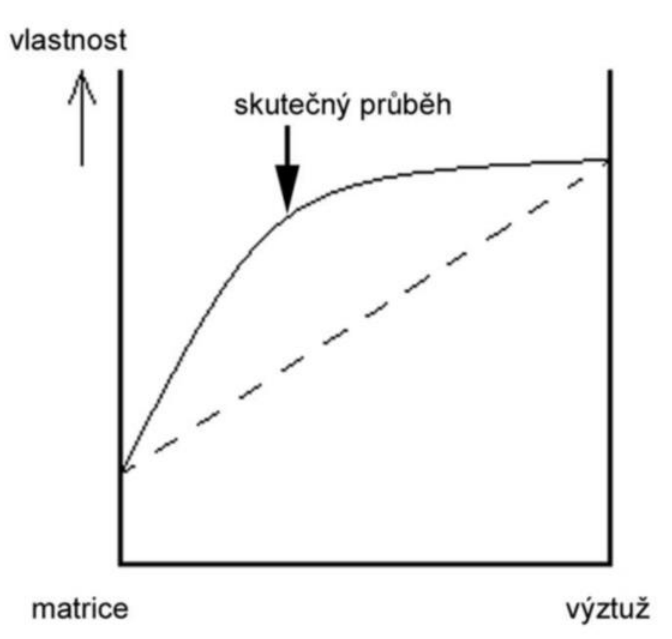
Kombiniert



2. Verbundwerkstoffe

Ein Verbundstoff kann definiert werden als ein Material, das aus zwei oder mehr heterogenen Bestandteilen besteht. Diese Komponenten unterscheiden sich in ihren mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften. Im Allgemeinen besteht das Verbundmaterial aus einer kontinuierlichen und diskontinuierlichen Phase. Die kontinuierliche Phase wird als Matrix bezeichnet, und in der Verbundstruktur besteht ihre Hauptaufgabe darin, als Bindemittel zu wirken. Die diskontinuierliche Phase wird als Verstärkung bezeichnet und hat eine Verstärkungsfunktion im Verbund.

2.1. Synergieeffekte



2.2. Polymer-Verbundwerkstoffe

Die Eigenschaften von Verbundwerkstoffen weisen auf die Perspektive dieser Materialien nicht nur für den Maschinenbau, sondern auch für andere Branchen hin. Das grundlegende Merkmal von Verbundwerkstoffen ist das geringe Gewicht von Verbundkomponenten bei gleichzeitig hohen mechanischen Eigenschaften. Verbundwerkstoffe können in Bezug auf die mechanischen Eigenschaften mit Stahl abgestimmt werden.

Vorteile von Polymerverbundwerkstoffen

- Hohe Flexibilität bei der Verformung
- Hohe Festigkeit und Steifigkeit, die an die Richtung und Art der Belastung angepasst werden kann.
- Hohe Anpassungsfähigkeit an jede Form
- Hohe dynamische Belastbarkeit bei hoher mechanischer Dämpfung
- Niedriger Koeffizient der linearen Wärmeausdehnung
- Alterungs- und Korrosionsbeständigkeit
- Eine großartige Möglichkeit, verschiedene Arten von Matrix und Verstärkung zu kombinieren, um eine "maßgeschneiderte" Lösung zu schaffen.
- Großer Gewichtsverlust gegenüber Stahlprodukten.

(Carguideblog, 2013)

Nachteile von Polymerverbundwerkstoffen

- Aufgrund der vielen Kombinationsmöglichkeiten von Matrix und Verstärkung gibt es keinen standardisierten Verbundwerkstoff.
- Es ist nicht möglich, das Verhalten des Verbundwerkstoffs genau abzuschätzen (es ist nicht möglich, die Eigenschaften der einzelnen Komponenten leicht abzulesen).
- Komplexe Materialprüfung (wenn zerstörungsfreie Prüfung Voraussetzung ist)
- Geringe Zugfestigkeit in Richtung senkrecht zur Ausrichtung der Fasern (Risse, schwache Verbindung der Faser mit der Matrix).
- Komplexe Reparaturen und Bearbeitungen von Verbundwerkstoffen nach der Herstellung

(Evaluationengineering, 2006)

2.3. Einsatzmöglichkeiten in der Transportbranche

Verbundwerkstoffe finden heute in fast allen Branchen Anwendung. In der Transportbranche gilt dies für alle Verkehrsträger, also Automobil, Schiene, Luft und Schifffahrt. Auch die Raumfahrtindustrie steht hier im Rang, ist aber für die Transportbranche nur marginal.

Automotive

In diesem Transportbereich werden Verbundwerkstoffe hergestellt, z.B. Armaturenbretter, Achsen, Karosserieteile, Stoßfänger, Scheinwerferabdeckungen, Antriebswellen, Sit-

ze, Cockpits,....

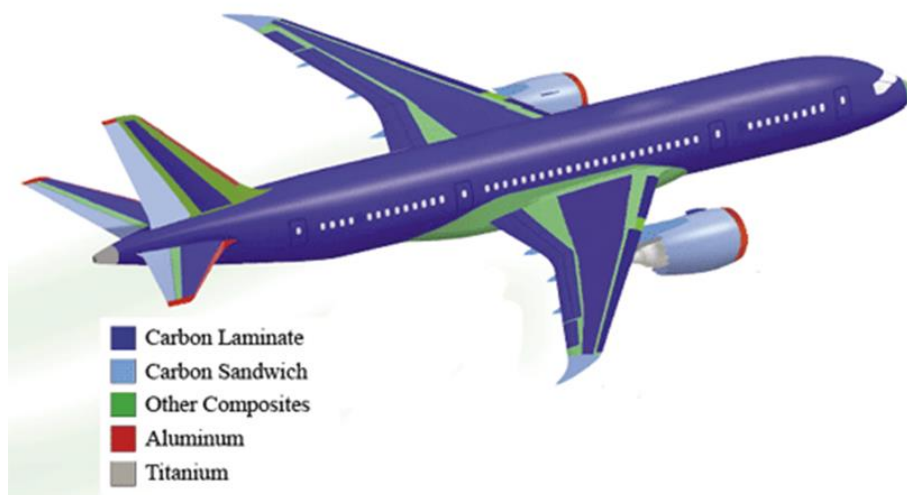
In der Automobilindustrie werden Verbundwerkstoffe aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften eingesetzt, um das Gewicht der einzelnen Komponenten und damit des gesamten Fahrzeugs zu reduzieren.

Luft- und Raumfahrt und Luft- und Raumfahrtindustrie

Schon heute wird ein großer Teil der Innovationen im Bereich der Verbundwerkstoffe in der Luft- und Raumfahrtindustrie eingesetzt. Dies liegt wiederum an der Gewichtsreduzierung, die zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs führt. Die neuesten Entwicklungen von Verbundwerkstoffen werden im Militär, d.h. in der Luftfahrt, eingesetzt. Ein Beispiel für den Einsatz in der militärischen Industrie ist die Tatsache, dass Verbundwerkstoffe Radarwellen teilweise absorbieren können.

Im Verkehrsbereich werden Verbundwerkstoffe auf Propeller, Flügel, Radartechnik, Flugzeugrümpfe, aber auch auf den Innenraum aufgebracht.

Materialzusammensetzung der Boeing 787 Dreamliner



Schiienenverkehr

Der Hauptaspekt ist die Gewichtsreduzierung (nicht nur Gewicht, sondern auch einfachere Handhabung) und die hervorragenden mechanischen Eigenschaften (hohe Steifigkeit und Festigkeit, Feuerbeständigkeit, etc.). Ein weiterer großer Vorteil und Merkmal ist der geringe Wartungsaufwand. Der Einsatz ist sowohl bei Lokomotiven als auch bei Waggons sehr umfangreich. Insbesondere ist es eine grobe Konstruktion, vorne und hinten vorne, vorne, hinten, hinten, Decke und Wand Verkleidung, Innen-Verbundwerkstoffe, Dashboard, etc.

Verwendung von Verbundhauben am Zugverband



2.4. Formen

Die Formenherstellung basiert auf mehreren der folgenden Kriterien:

- Formgröße, Komplexität und Geometrie,
- Genauigkeit und Oberflächenqualität, maximale Kostengrenze
- erforderliche Lebensdauer: Anzahl der produzierten Teile

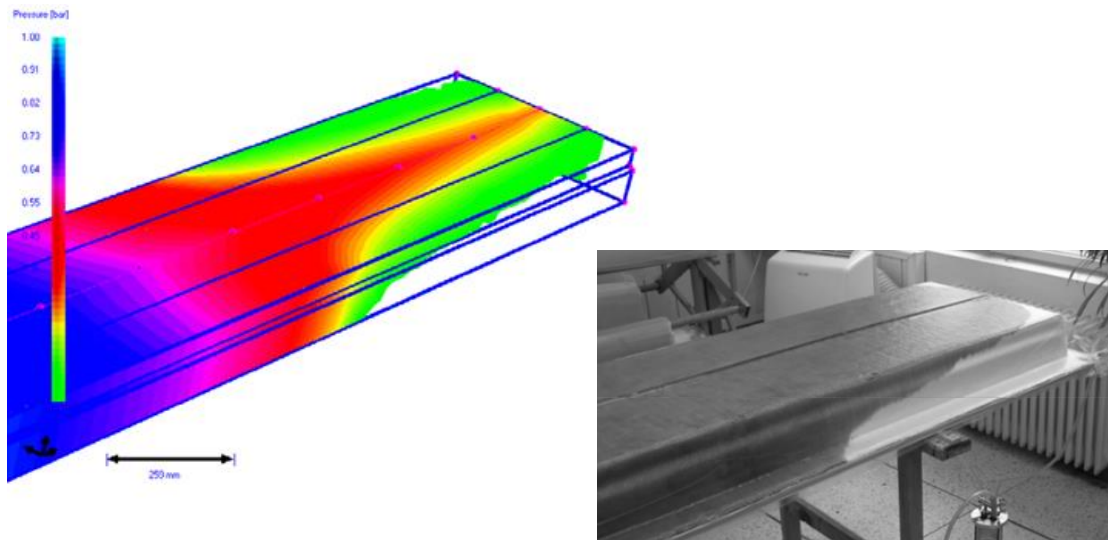
Formale Ansprüche, insbesondere für manuelle Gestaltung und Vakuuminfusion:

- Geringes Gewicht durch Formmanipulation
- Maßhaltigkeit bei Temperaturen um 80 ° C,
- mobile Ausführung

2.4.1. Prozess und Realisierung der Formenherstellung

Das eingegebene zukünftige Produkt wird zunächst in der 3D- und 2D-Software modelliert. Je nach Anforderung wird dann ein Modell erstellt, das dann für die Produktion verwendet wird. Anschließend wird die Finite-Elemente-Methode (FEM) zur Produktionsoptimierung eingesetzt. Es handelt sich um eine Verifikationsmethode, die mechanische Eigenschaften, Verformung, innere Spannung, Stabilität, Bindemittelverbindung (Geschwindigkeit, Zeit, etc.) überprüft.

Herstellung von dickwandigen Verbundbauteilen



2.4.2. Formmaterialien

- Verbundwerkstoff (Laminat)
- Metallformen
- Andere Materialien

Form zur Herstellung von Verbundkomponenten



2.5. Modelle

Das Modell ist ein integraler Bestandteil der Fertigungstechnologie, die sowohl die Form als auch das Fertigteil herstellt. Das Modell hat die Form einer negativen Geometrie der resultierenden Form. Konstruktive Abmessungen erfordern Maßhaltigkeiten. Dies ist der

Fall, wenn die Formoberfläche bearbeitet wird. Bei Verbundmodellen wird die Oberfläche des Modells lackiert und ein Trennmittel zur leichteren Verformung aufgebracht.

Modell (Prototyp) des zukünftigen Produkts



Darcy's Gesetz über Verbundwerkstoffe

$$\frac{Q}{A} = - \frac{K \cdot \Delta p}{\eta \cdot L}$$

Veličina	Jednotka	Popis	Veličina	Jednotka	Popis
Q	m ³ .s ⁻¹	Objemový průtok	Δp	1	Tlakový gradient
A	m ²	Plocha průtoku	η	Pa.s	Viskozita pojivého systému
K	m ²	Permeabilita výstuže	L	m	Penetrovaná délka

Anforderungen an Materialien für die Bahnindustrie

Derzeit werden Verbundwerkstoffe zu einem immer wichtigeren Element in der Konstruktion. Verbundwerkstoffe haben sich stark in der Luftfahrt-, Schifffahrts- und Automobilindustrie etabliert, aber in der Bahnindustrie ist die Nutzungsrate von Verbundwerkstoffen immer noch am geringsten. Aber wir können sagen, dass sie im Laufe der Zeit ihren Platz in dieser Branche finden und finden werden. Das Haupthindernis für die Massenausdehnung sind die anfänglich hohen Kosten für Konstruktion, Berechnung und Kontrolle in Simulationsprogrammen, aber auch Rohstoffe und die Herstellung von Verbundkomponenten.

Materialbedarf

Derzeit gibt es 8 Hauptanforderungen an Materialien in der Bahnindustrie:

- Gewicht
- Mechanische Eigenschaften
- Sicherheit
- Lebensdauer
- Wartung
- Ökologie
- Formeigenschaften
- Kosten

3. Kunststoffe

Die Herstellung von Artikeln (Produkten) aus polymeren Materialien weist einige Besonderheiten auf, die bei der Gestaltung individueller technologischer Prozesse berücksichtigt werden müssen. Die Vielfalt der Eigenschaften der Polymere, abhängig von der chemischen Beschaffenheit des Polymers und seinem physikalischen Zustand, erfordert eine relativ große Variabilität auch in Herstellungsprozessen, unter Polymerverarbeitungsbedingungen.

3.1. Polymere

Polymere lassen sich in drei grundlegende Gruppen unterteilen:

- Thermoplastische Kunststoffe
- Elastomere (Gummi)
- Reaktoplaste (früher Duroplaste genannt)

Thermoplastische Kunststoffe

Thermoplastische Kunststoffe verhalten sich bei normalen Temperaturen wie Feststoffe, bei erhöhten Temperaturen jedoch fixieren hochviskose Flüssigkeiten (in allen Fällen von Pseudokunststoffen), die geformt und rückgekühlt werden können, ihre Form. Dieser Prozess ist wiederholbar, d.h. das Polymer kann zum Umschmelzen und Umschmelzen wieder erwärmt werden.

Elastomere

Elastomere weisen bei normalen Temperaturen eine hohe elastische Verformung auf, sind aber bei hohen Scherspannungen fließfähig. Nach der Vernetzung zwischen den Makromolekülen wird der plastische Materialfluss unterdrückt, das Polymer wird hochelastisch, sehr plastisch verformbar. Das Material wird im Allgemeinen als Gummi bezeichnet.

Reaktoplast

Reaktionskunststoffe verhalten sich wie Thermoplaste, haben sehr wenig oder gar keine Komponente der elastischen Verformung, werden meist bei normalen Temperaturen oder bei leicht erhöhten Temperaturen leicht geformt und es treten während der Umformung chemische Strukturveränderungen auf. Um die Form des Artikels zu stabilisieren, findet eine chemische Vernetzungsreaktion statt, die durch das Mischen zweier reagierender Komponenten oder nur durch den Einfluss einer erhöhten Temperatur ausge-

löst werden kann. Nach der chemischen Reaktion entsteht ein Feststoff, der praktisch keine elastische Verformung aufweist und nicht wieder in den plastischen Zustand gebracht werden kann.

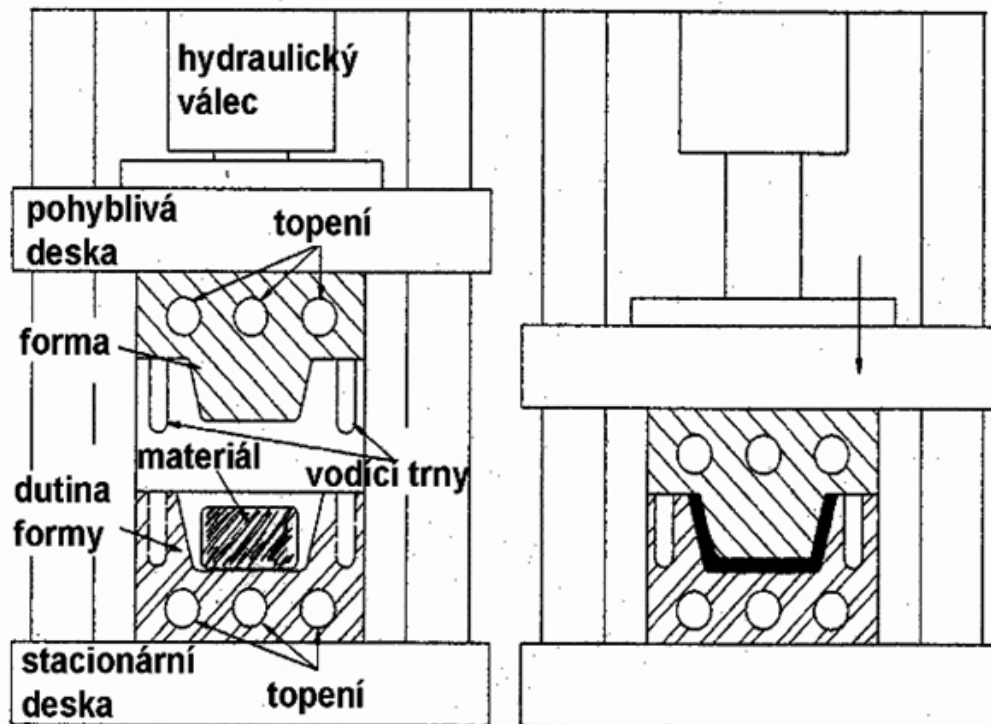
3.2. Extrusion

Die Extrusion der Mischung ist ein adiabatischer Prozess - bei diesem Prozess wird mechanische Energie in Wärme umgewandelt. In der Praxis sprechen wir über den subadiabatischen (polytropischen) und superadiabatischen Prozess der Extrusion der Gummimischung. Im subadiabatischen Prozess wird ein Teil der Wärme von der externen Quelle zugeführt, um die Mischung auf die für eine gute Verarbeitung der Gummimischung erforderliche Temperatur zu erwärmen, und ein Teil der Wärme wird durch die Umwandlung von mechanischer Energie gebildet.

Die Extrusionsmaschinen werden hauptsächlich nach der Art des zu verarbeitenden Materials und der unterschiedlichen Ausführung der Extrusionseinheiten unterteilt. Wenn wir die Eigenschaften des Materials und seine Eigenschaften kennen, können wir einen Extruder mit einem geeigneten Druck des extrudierten Materials auswählen.

3.3. Überdruck

Der Überdruck wird durch seinen technologischen Aufbau und seine Prozesseigenschaften stark gepresst. Der Unterschied zwischen Kompression und Überdruck liegt in der Konstruktion der Form und der daraus resultierenden unterschiedlichen Dosierung des Gemischs in den Formhohlraum. Das Material wird in eine Hilfsdruckkammer dosiert, die vom Formhohlraum getrennt ist. Durch Drücken der Presse entwickelt der Kolben Druck auf das Gemisch, das dann durch die Düsen in den Formhohlraum gedrückt wird. Der Druck, der zum Füllen des Formhohlraums erforderlich ist, ist niedriger, was den Einsatz von vertikal zu öffnenden Formen und damit die Herstellung anspruchsvollerer Produkte ermöglicht.



3.4. Einspritzung

Das Prinzip der thermoplastischen Einbringung liegt in der Plastifizierung, d.h. das Polymer in einen viskosen Flüssigkeitszustand (Schmelze) zu versetzen und anschließend in den gekühlten geschlossenen Formhohlraum zu spritzen. Dort kühlt das zu kühlende Material ab und wird steif. Das Prinzip des Formens ist identisch mit dem des Formens, außer dass das Schmelzen des Polymers nicht direkt in der Form stattfindet und die Flussrate des Polymers beim Anzapfen in den Formhohlraum wesentlich höher ist als die des Formens oder des Überdrucks.

Einspritzmaschine

Eine Spritzgießmaschine ist eine Vorrichtung, die es ermöglicht, den geschmolzenen Kunststoff zu homogenisieren und die Schmelze unter Druck in eine geschlossene Form zu injizieren. Geschlossene Formen müssen gegen Öffnungen mit einer Kraft gesichert werden, die größer ist als die durch den Druck im Formhohlraum induzierte Kraft.

Die Grundteile der Spritzgießmaschinen sind:

- **Einspritzeinheit** - Trichter, Dosiervorrichtung, Plastifizier- und Einspritzkammer mit Kolben oder Rolle, Düse, Heizung und Steuerung.

- **Die Schließeinheit umfasst:** einen Verriegelungsmechanismus (Gelenk oder Kolben), einen Haltemechanismus.
- **Form** - Zeigt die Produktform an.
- **Zubehör der Spritzgießmaschine** - sie besteht aus einer Energiequelle, einer Formvorrichtung sowie Steuerungs- und Kontrollelementen.

Horizontale Spritzgießmaschinen

Die gebräuchlichste Ausführung der Spritzgießmaschinen ist ein horizontaler Einkammer-Spritzguss, dass die Achse der Spritzeinheit in einer horizontalen Position senkrecht zur Formebene der Form ist.



Vertikale Injektionspressen

Für spezielle Anwendungen werden in vielen Fällen vertikale Spritzgießpressen eingesetzt. Klemmplatten haben horizontale Formflächen. Die obere Platte ist in vertikaler Richtung beweglich, die untere Platte ist in horizontaler Richtung beweglich. Die Bewegung der Bodenplatte wird entweder durch Drehen des Drehtisches oder durch Verschieben des Schiebetisches ermöglicht. In beiden Fällen hat die Form dann eine Hälfte der Form auf dem Obertisch und zwei identische untere Hälften auf dem Untertisch.

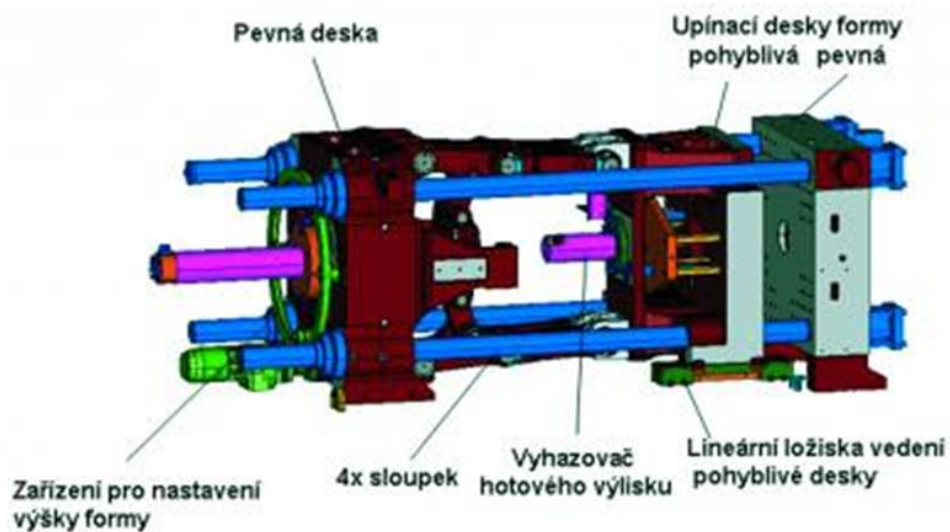


Vertikální vstřikovací lis s otočným stolem a vertikální vstřikovací jednotkou



Vertikální vstřikovací lis s otočným stolem a vertikální vstřikovací jednotkou

3.5. Hydraulikmaschinen

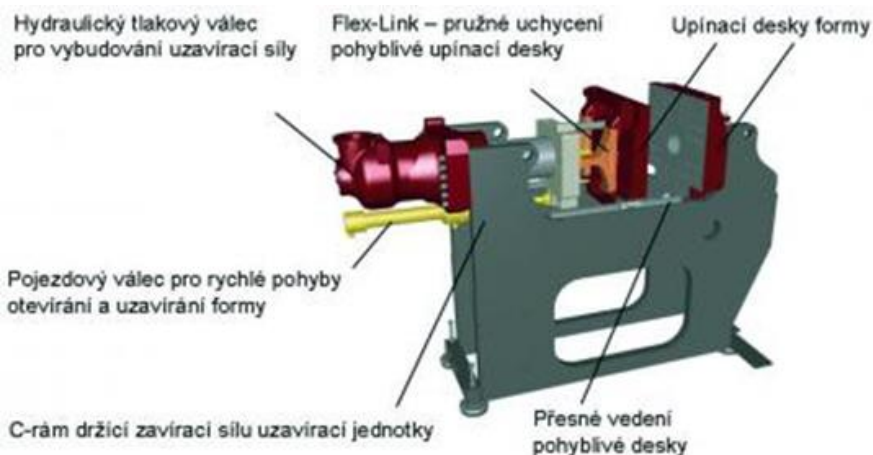


Zweiplattenmaschine mit einer festen und einer beweglichen Platte



Häufig wird der Bau von "säulenlosen" Maschinen durchgeführt. Die Schließkraft überträgt anstelle der Säulen den sogenannten C-Rahmen. Die geringe Elastizität des C-Rahmens wird durch die flexible Befestigung der beweglichen Platte, dem sogenannten Flexline, kompensiert. Diese patentierte Konstruktion ermöglicht ein präzises Schließen der Form ohne die Gefahr von Scherkräften. Für das Spannen von Formen steht mehr Platz zur Verfügung als für Säulenmaschinen.

Ohne Säulenmaschine



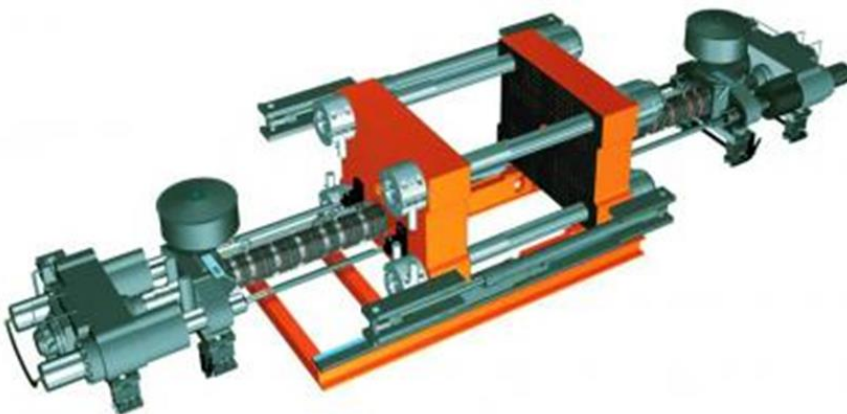
Elektrische Spritzpressen

Die Maschinenbewegungen werden von elektrischen Servomotoren angetrieben, die von Frequenzumrichtern gesteuert werden. Der Preis für eine größere Anzahl von Antriebsmotoren und deren Lenkung wird durch eine präzisere Produktion und bessere Reproduzierbarkeit im Vergleich zu hydraulischen Maschinen kompensiert. Die Zykluszeit der Maschine ist kürzer, und es ist auch interessant, Energie zu sparen, die sich aus einem höheren Wirkungsgrad des Antriebs im Vergleich zur Hydraulik ergibt. Außerdem ist es nicht erforderlich, den Hydraulikmotor zu kühlen.

Hybridmaschinen

Hybridmaschinen mit elektrisch angetriebenen Einspritzungen werden derzeit am häufigsten im Mehrkomponentenspritzguss eingesetzt, wo die Spritzgenauigkeit der wichtigste Parameter ist, um die Qualität des Spritzgießens von mehreren Materialien erfolgreich zu gewährleisten.

Zwei Spritzgießmaschinen



Automatisierung von Spritzgießmaschinen

Der Einsatz von Robotern und Manipulatoren beschleunigt und verbessert die Produktion von Spritzgussteilen erheblich. Vor allem bei größeren Maschinen mit Schließkräften über 1 500 kN ist der Einsatz von Robotern heute in fast allen Maschinen weit verbreitet. Die meisten linearen Manipulatoren werden verwendet.

Linearmanipulator mit Formförderer



3.6. Walzen

Das Walzen ist eine Technologie, die die Polymermasse in Form von Folien und Bändern in einem Schlitz zwischen zwei gegenläufigen Walzen formt. Das Walzen oder auch Kalandrieren ist die Grundlage für mehrere technologische Operationen, die hauptsächlich bei der Herstellung von Gummiprodukten eingesetzt werden:

- Herstellung von Gummigurten selbst, die auch bei der Herstellung von Fertigprodukten (z.B. Reifen, Gummischuhe, Förderbänder usw.) verwendet werden.
- Imprägnierung und Gummibeschichtung von Geweben, Reibbeschichtung

3.7. Blasen

Mit der Blastechnik werden Hohlkörper, insbesondere Flaschen und andere verschließbare Behälter, hergestellt. Diese Technologie eignet sich für die Herstellung von Hohlkörpern, bei denen keine zu hohe Genauigkeit der Wanddicke erforderlich ist. Typische Beispiele sind PET-Getränkeflaschen, PET-Flaschen und Waschmittelbehälter, Haushaltschemie, Agrochemikalien, etc. Auf diese Weise werden derzeit etwa 90% der Hohlkörper aus Kunststoff (Flaschen, Dosen, Tanks usw.) hergestellt, wobei die größten Behälter ein Volumen von 10.000 Liter und ein Gewicht von bis zu 180 kg aufweisen.

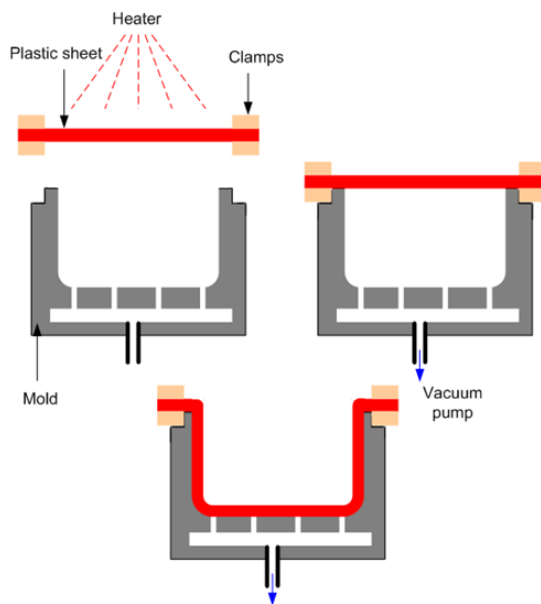


3.8. Formgebung

Die Formgebung erfolgt in kalter Form. Sie muss in kürzester Zeit auslaufen, damit die Kunststofftemperatur während der Formphase konstant bleibt. Daher wird die durch den Kunststoff zulässige maximale Geschwindigkeit des Formteils gewählt.

Nach dem Formen darf das Produkt nicht früher geformt werden, wenn seine Temperatur nicht unter die niedrigere Glasübergangstemperatur fällt. Das Ergebnis ist, dass das Formgedächtnis nicht reflektiert wird. In der Regel werden Platten und Materialien mit einer Dicke von 0,4 mm bis 10 mm verarbeitet und haben die Abmessungen 100 x 100 mm oder 800 x 1500 mm, hergestellt aus den Materialien hPS, ABS, PMMA, PVC, PC.

Vakuumformprinzip



3.9. Gießen, Einweichen, Hitze- und Flüssigkeitsanwendung

Das Gießen ist eine Technologie, die sowohl von Thermoplasten als auch von Thermoplasten verarbeitet werden kann. Abhängig von den Kräften, die auf das Polymer für seine Formgebung einwirken, erkennen wir die Gussgravitation, Zentrifugal und Rotation.

Das Prinzip des Rotationsgusses



Durchnässt

Durch Einweichen werden die Polymere in flüssiger Form, Paste und Dispersion verarbeitet. Die am häufigsten verwendeten polymeren Materialien sind PVC-Pasten, aber auch Latexkautschuke. Bei PVC-Pasten erfolgt die Gelierung des Produkts bei Lösungen oder Latexen durch Verdampfung von Lösungsmitteln. Beim Einweichen von Latexkautschukprodukten ist die Vulkanisation in der Regel nach dem Trocknen des Latex erforderlich.

Das Prinzip der Einweichlatexhandschuhe



Warme Anwendung

Es können Polymere verarbeitet werden, die eine Zersetzungstemperatur aufweisen, die ausreichend höher ist als die Schmelztemperatur. Das Prinzip der Heißschmelze besteht darin, das Polymer in einer speziellen Pistole zu schmelzen und dann die Polymer-schmelze auf die Oberfläche des ausgewählten Materials zu sprühen. Das Design einer Spritzpistole leitet sich von einer Pistole für die Heißmetallanwendung ab. Über ein zentrales Rohr der Pistole wird ein Pulverpolymer zugeführt und ein Acetylen-Sauerstoff-Brenngemisch strömt durch den Außenring.

Flüssigkeitsbeschichtung

Wird als Technologie zum Aufbringen einer Polymerbeschichtung auf die Oberfläche von Gegenständen zum Zwecke der Oberflächenbehandlung verwendet. Bietet eine gleichmäßigere und bessere Beschichtung, wie z.B. Heißsprühen. Das Prinzip der Fluidabscheidung besteht darin, dass der erwärmte Gegenstand in die Wirbelschicht des pulverförmigen Polymers eingetaucht wird. Die Polymerpartikel werden auf der Oberfläche eines ausreichend erwärmten Artikels geschmolzen und in eine kompakte Schicht gegossen.

4. Halbfabrikate

Durch sein Prinzip sind die verschiedenen Methoden der Metallurgie unterschiedlich und werden oft unterteilt:

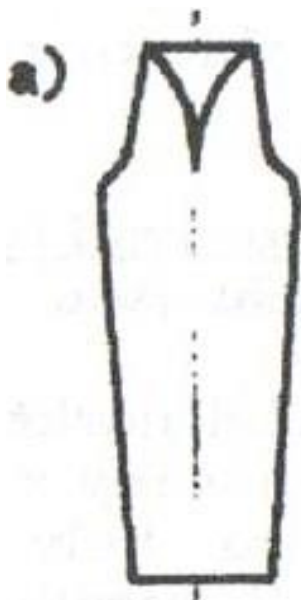
- Landwirtschaft
- Formgebung
- Schweißen, Löten, Wärmeabtrennung, Kleben, etc.
- Wärmemanagement

4.1. Rabatte

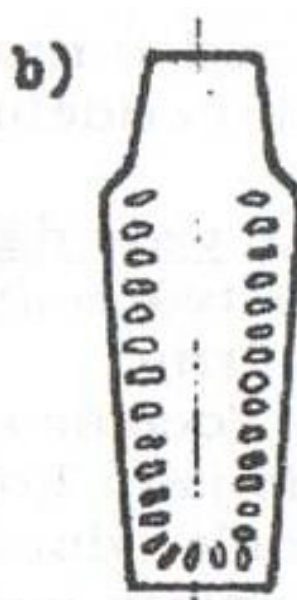
Aus einer breiteren metallurgischen Sichtweise unterscheiden wir:

- Gießen von metallurgischen Gussteilen
- Gießen von Formgussteilen

Gießen von metallurgischen Gussteilen



(a) beruhigt Stahl;



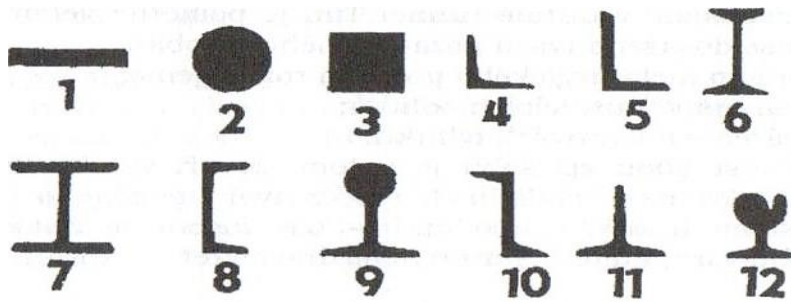
(b) Stahl setzt sich nicht ab.

Schema des Blocks

Walzstahl Walzstahl kann unterteilt werden in (New, I. et al., 2006):

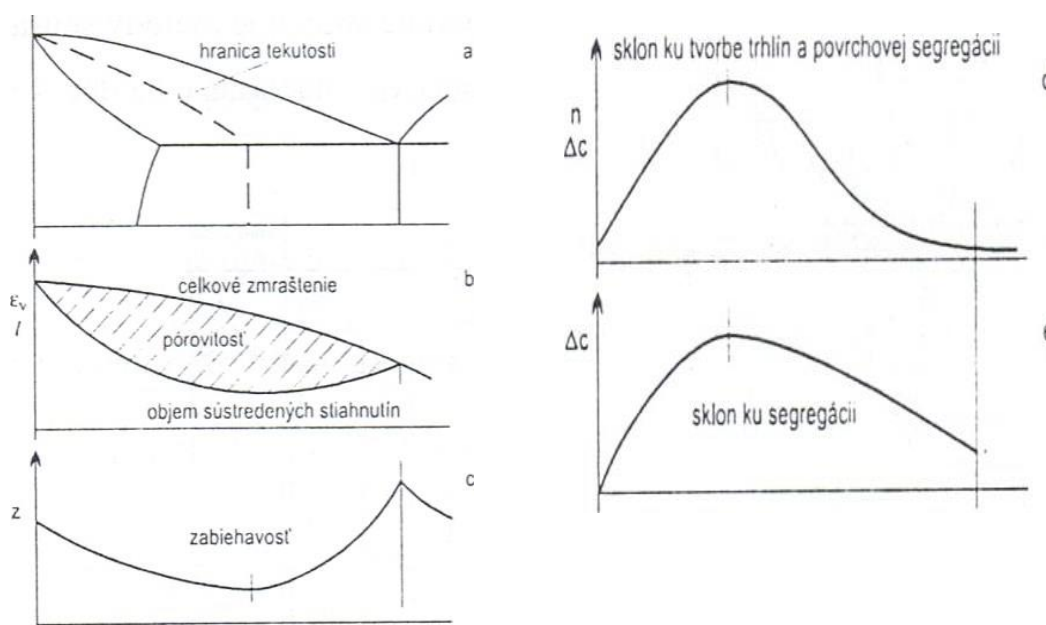
- Profile mit einfachen geometrischen Formen
 - runde, quadratische, rechteckige, I-Profile, U-Profile, etc...;
- Blechdicke 0,15-4 mm - Tiefe 3000 mm, Dicke 4-60 mm - Tiefe 3500 mm; Dicke 60 - 250 mm - Tiefe 4500 mm;
- Rohre - runder, rechteckiger, ovaler Querschnitt ;,
- Walzen eines Profils, das auf eine bestimmte Weise durch Walzen erhalten wurde.

Schema der metallurgisch gewalzten Halbfabrikate



1-Bandstahl, 2-Ring-Stahl, 3-Vierkantstahl, 4 gleichschenklige Winkel, 5-Winkel-Gleichschenklig, 6,7-I-Profil, 8-U-Profil, 9-Profil, 10-Profil, 11-Profil, 12-Tram-Schiene

Abhängigkeit der technologischen Eigenschaften der Legierung von der Zusammensetzung



Formen und Modelle

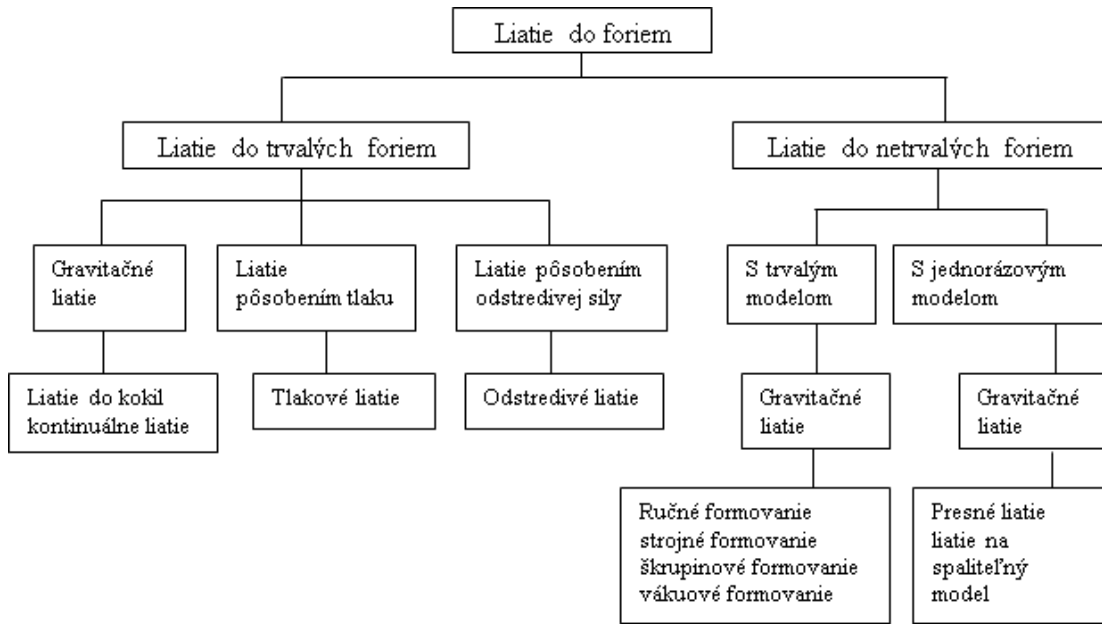
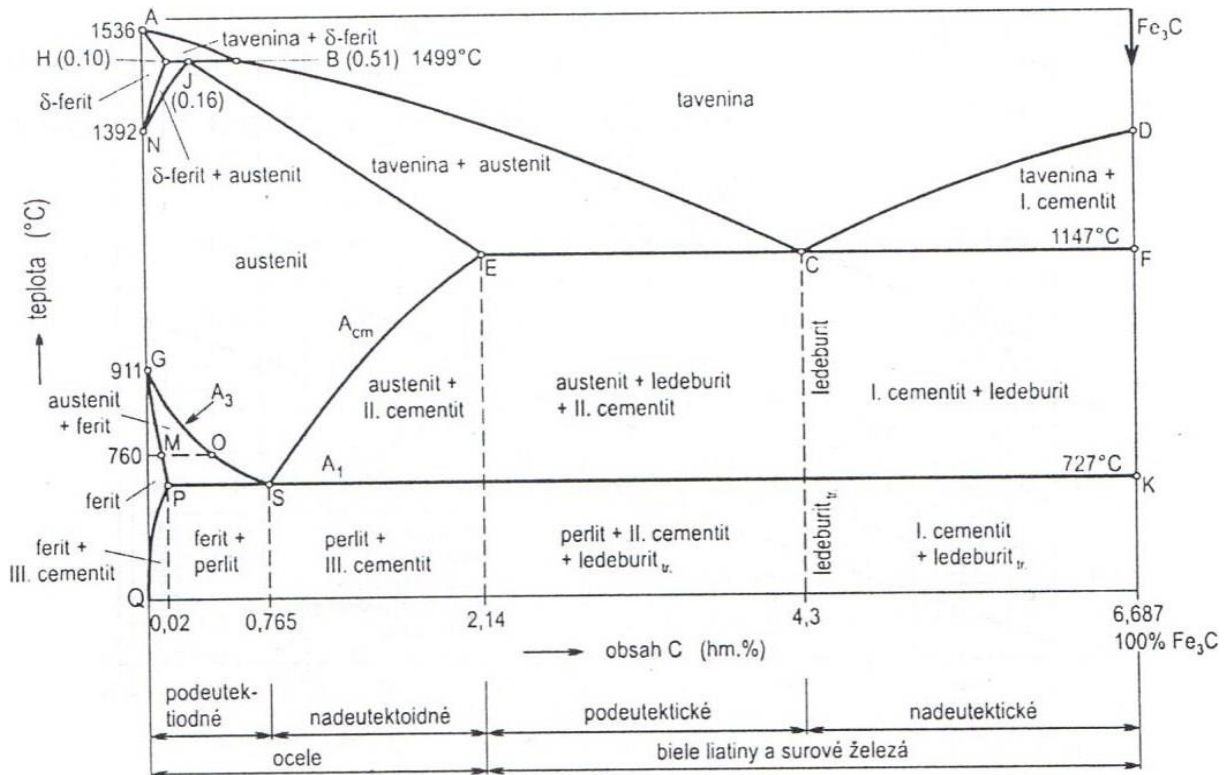


Diagramm Eisen - Kohlenstofflegierung



4.2. Stahlguss

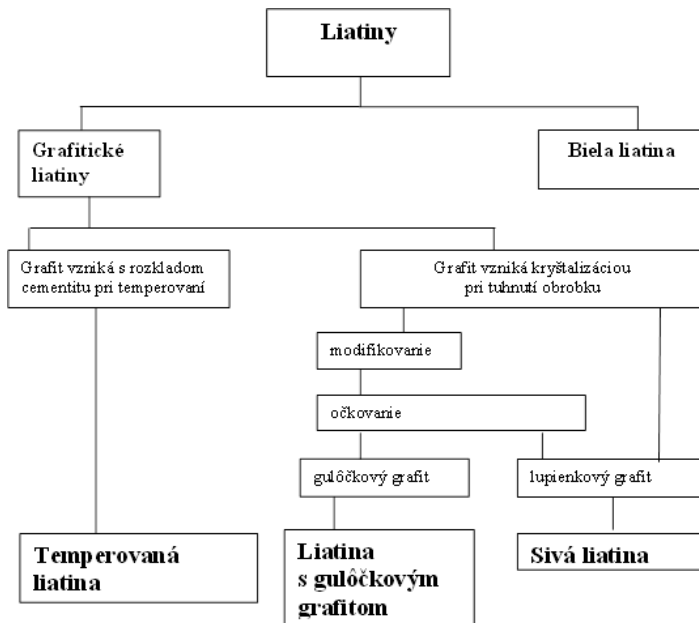
Je nach chemischer Zusammensetzung unterteilen wir den Gussstahl in die folgenden Grundgruppen:

- **Legierte Stähle** - enthalten Legierungselemente (ein oder mehrere Legierungselemente).
 - Abhängig vom Gehalt der Legierungselemente teilen wir diese in:
 - Niedriglegierung (Gehalt an Legierungselementen unter 5%)
 - Mittel legiert (Legierungsgehalt 5% - 10%)
 - Hochlegiert (Gehalt an Legierungselementen über 10%)
- **Unlegierte - Kohlenstoffstähle** - enthalten eine geringe Menge (0,06 - 0,5%) der zugehörigen Elemente (S + P, P, P, S, Mn, Si, Si.). Wir können diese Stähle grob in drei Gruppen einteilen:
 - Niedriger Kohlenstoffgehalt (Kohlenstoffgehalt unter 0,25%),
 - Mittlerer Kohlenstoffgehalt (Kohlenstoffgehalt 0,25% - 0,6%),
 - Hoher Kohlenstoffgehalt (Kohlenstoffgehalt über 0,6%).

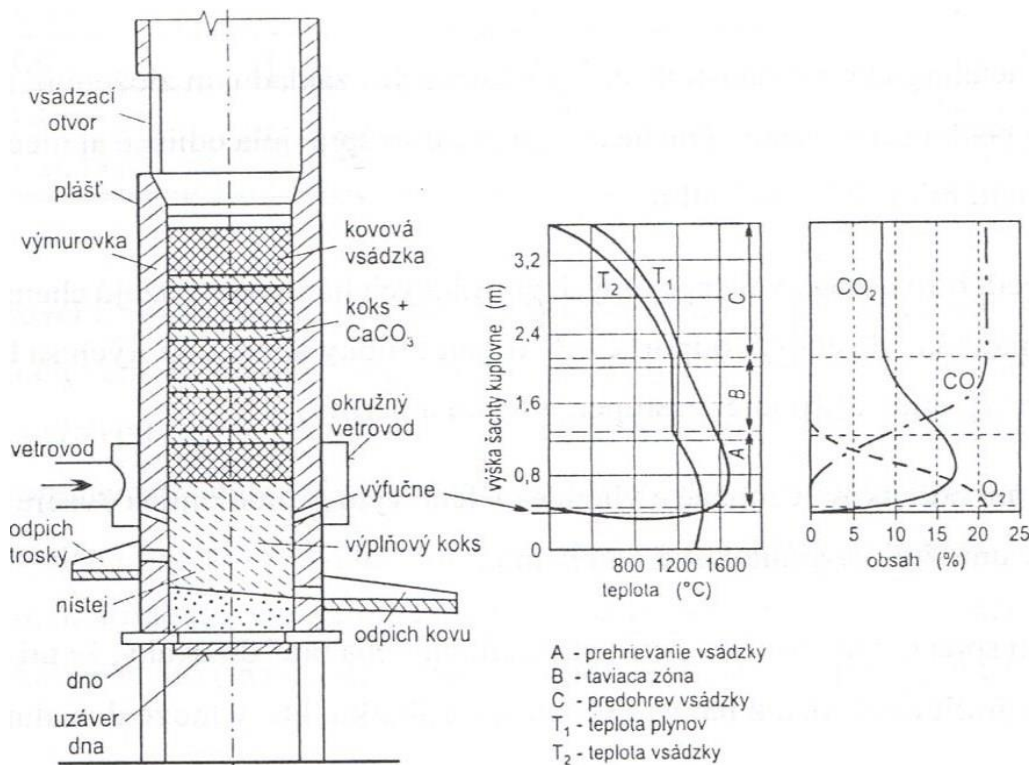
Wir beziehen uns wie folgt auf Stahlguss nach der Norm ČSN: 42 XX JJ. Z1Z2.

- Die ersten beiden Ziffern
42 - eine Klasse von Normen für die Metallurgie
- Die zweiten beiden Ziffern
XX - Art des Gussmaterials, z.B. Gießverfahren
- Der dritte Zwillings - XX
- 00-29 beschreibt, dass Gussteile in einer anderen Weise gegossen werden als Sandformen,
- 30 - 99 zeigt die niedrigste Zugfestigkeit bei 10 MPa an (z.B. 42 2636 - Zugfestigkeit 360 - 460 MPa).
- Für hochlegierte Gussstähle (42 29 YY) wird die dritte zweistellige Gruppe von Legierungselementen verwendet.
- Viertes Doppel - Y1Y2 (zusätzliche Ziffern)
- Y1 - bezeichnet den Endzustand des Gussmaterials in Abhängigkeit von seiner Wärmebehandlung,
- Y2 - bezeichnet den Gießprozess von Eisenlegierungen.
- Bei legierten Stählen haben vierteilige Gussteile die gleiche Bedeutung wie Kohlenstoffstahl.

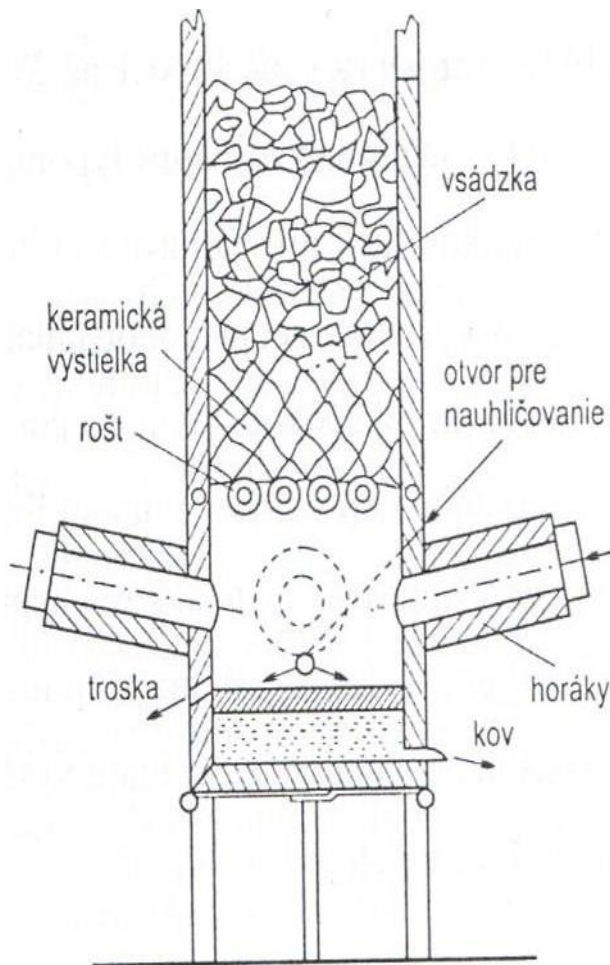
4.3. Gusseisen



4.4. Anordnung des Ofenofens mit der Temperatur und Zusammensetzung der Rauchgase



Ohne Koksofen



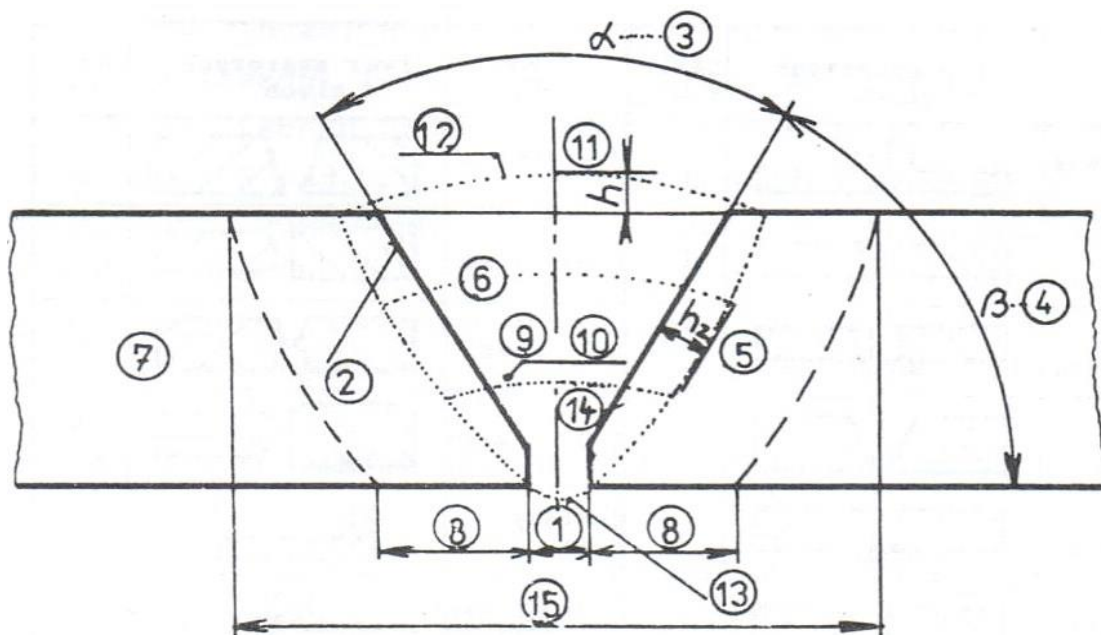
Gießerei-Formmassen

Gießereiformmassen sind Rohstoffe (Sand - Borsten, Bindemittel und Hilfsstoffe), aus denen Formmassen hergestellt werden. Diese werden zur Herstellung von semi-permanenten und nicht-permanenten Kernen und Formen verwendet.

Schärfer und Binder

- Schärfe von Formmassen (Sand) ist ein feuerfestes Material, das 86-96 Gew.-% und Volumenanteil in der Formmasse umfasst.
- Das Bindemittel verbindet den Aufheller und die Formmasse verleiht die notwendige Duktilität und Festigkeit.

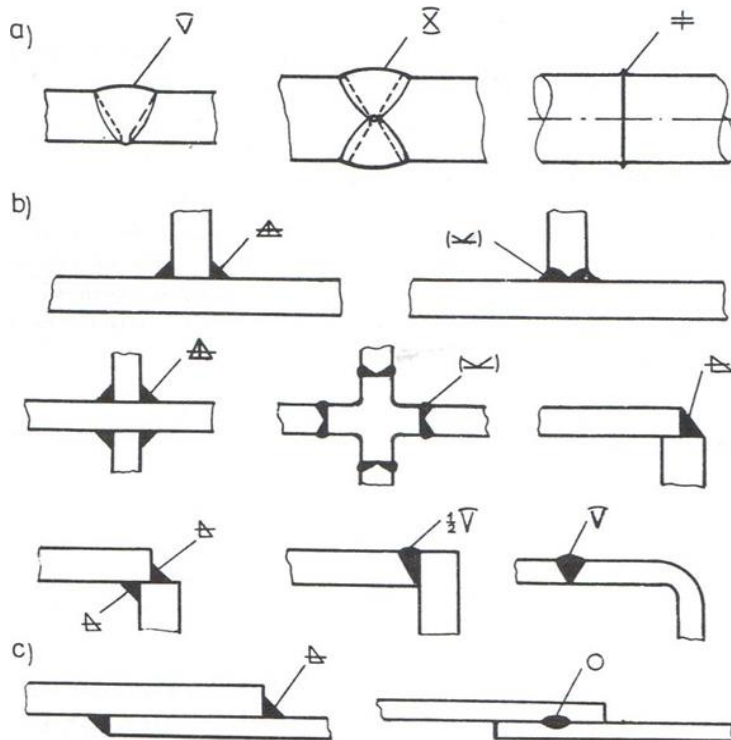
4.5. Schweißen



Grundlegende Schweißverfahren

Tavné svařování	Svařování tlakem
Svařování plamenem	
Svařování elektrickým obloukem: -obalenou elektrodou -v ochranné atmosféře s odtavující se elektrodou, drát anebo plněná trubička (MIG, MAG) -v ochranné atmosféře s neodstavující se elektrodou (WIG, TIG) -automatické s různými typama elektrod (uhlíková) -pod tavidlem -Svařování s rotujícím obloukem	Svařování elektrickým odporem: -bodové -švové -výstupkové -stykové – pěchováním - odtavením
Svařování termitem (aluminotermie)	Svařování třením
Svařování elektrostruskové	Svařování indukční
Svařování laserem	Svařování ultrazvukem
Svařování plazmou	Svařování tlakem za studena
Svařování slévárenské	Svařování výbuchem

Arten von Schweißverbindungen



Namen und Formen der Schweißflächen

Název svaru	Tvar svarových ploch	Zákl. znak	Název svaru	Tvar svarových ploch	Zákl. znak
Lemový svar			U - svar		
I - svar			U - svar		
I - svar na podložce			UU - svar		
V - svar			UU - svar		
V - svar na podložce			Koutový svar		
$\frac{1}{2}$ V - svar		$\frac{1}{2}$	Koutový svar oboustranný		
X - svar			Rehový svar		
X - svar nesymetrický			Svar děrový a žlábkový		
K - svar			Svar děrový a žlábkový skosený		

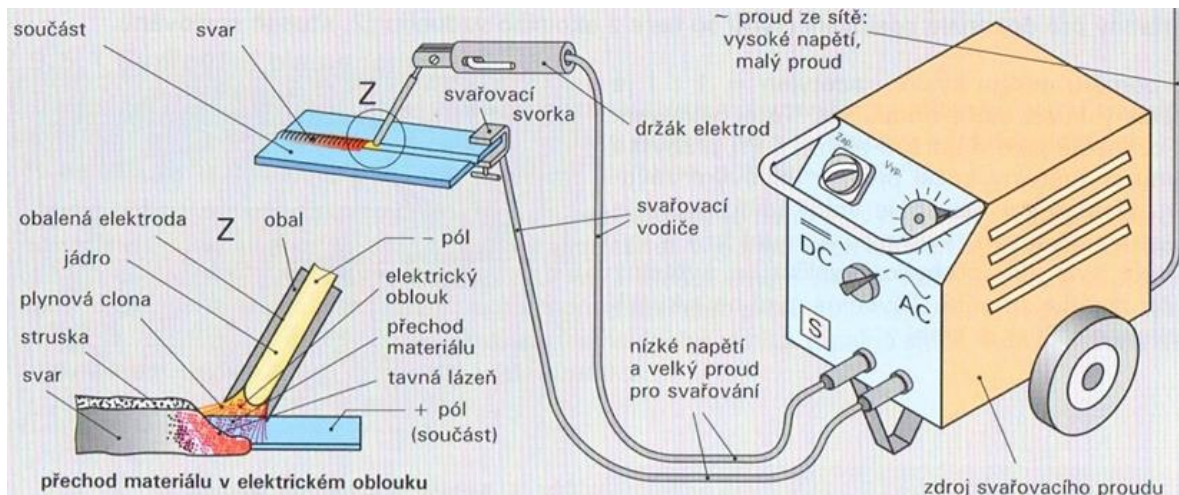
4.6. Lichtbogenschweißen

Der Bogen weist mehrere charakteristische Bereiche auf (Blažčík, F. et al., 1988):

- Auf der Oberfläche der Elektrode, die einen Minuspol (Kathode) aufweist, bildet sich ein Kathodenpunkt, über den der Strom fließt. In der Nähe der Kathode bildet sich in der Gassäule ein Kathodenbereich,
- Auf der Oberfläche der Elektrode mit dem Pluspol (Anode) befindet sich ein Anodenflicken und ein damit verbundener Anodenbereich,
- Der zentrale Teil der Säule ist eine positive Säule, die fast die gesamte Länge des Bogens bildet.

Schema für das manuelle Lichtbogenschweißen

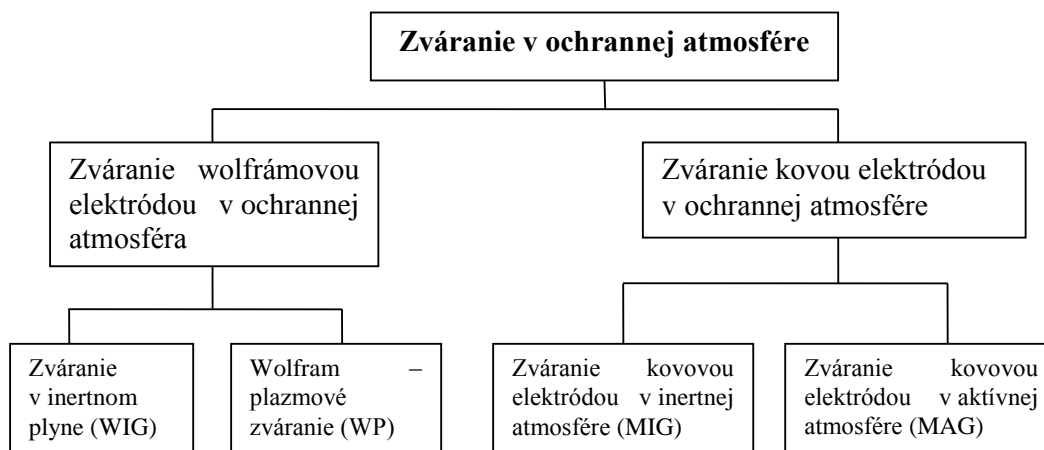
(Fischer, U. a kol., 2004)



Lichtbogenschweißen unter Schutzatmosphäre

Beim Schweißen unter Schutzatmosphäre unterscheiden wir WIG-Schweißen und Schweißen mit einer Metallschmelzelektrode (MAG, MIG). Der Vorteil ist die einfache Automatisierung des Schweißprozesses und die Eignung für den Einsatz an robotisierten Arbeitsplätzen.

Trennung des Schweißens unter Schutzatmosphäre

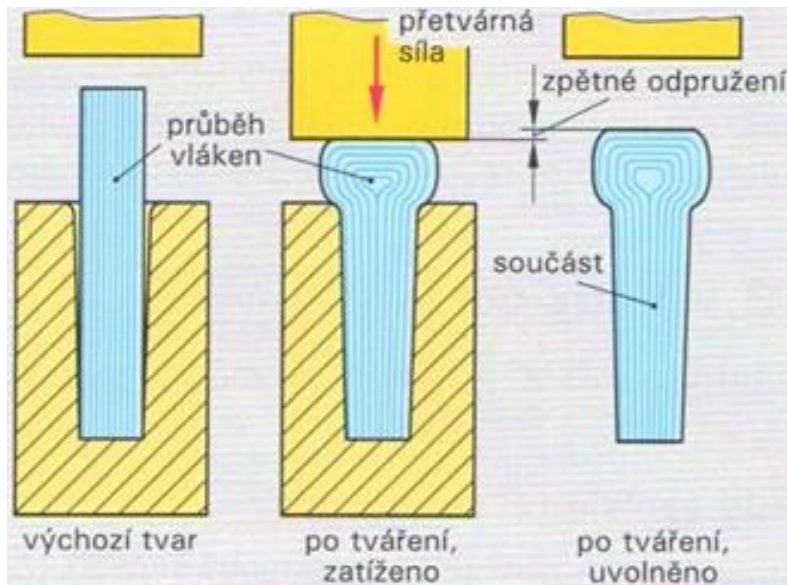


4.7. Formgebung

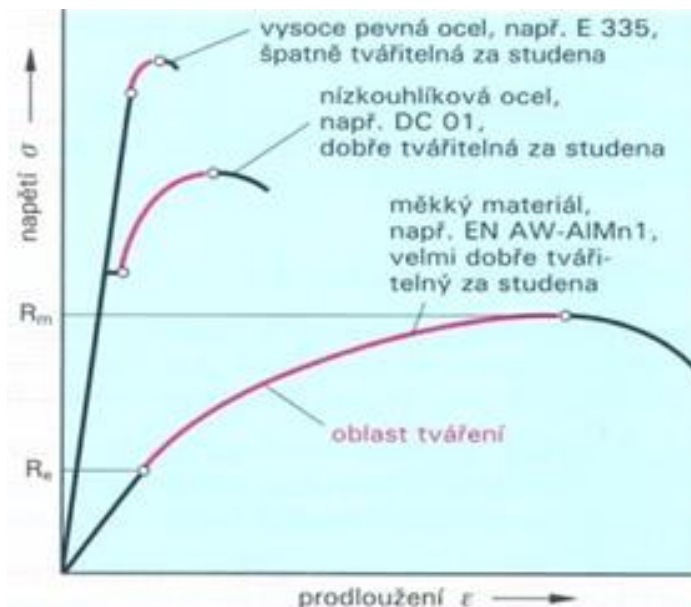
Verformung eines Teils der Bearbeitungstechnologie, die die Eigenschaften, Abmessungen und Form durch äußere Kräfte verändert. Die Formänderung erfolgt durch die Übertragung von Metallpartikeln auf Basis der Plastizität. Es ist die wichtigste Eigenschaft von Metallen und bietet Festigkeit und Flexibilität. Es handelt sich um eine dauerhafte Veränderung der Form und Dimension des geformten Materials (Komponenten).

Dies wird durch die äußeren Kräfte der Umformmaschine und des Werkzeugs verursacht.

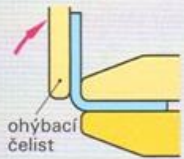
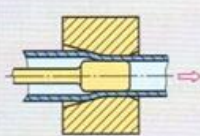
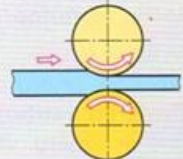


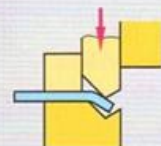
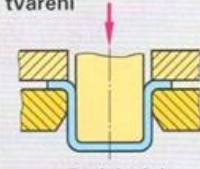
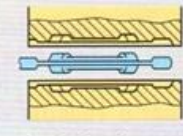
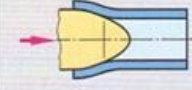
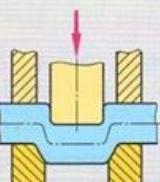
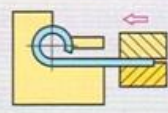

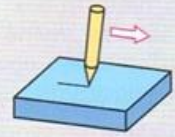
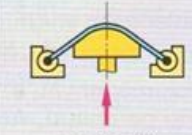
Das Teil wurde transformiert, hat eine andere Form.



Plastische Deformation beim Umformen



Formgebungsverfahren, (Fischer, U. a kol, 2004)

tváření ohybem	tváření tahem a tlakem	tváření tlakem	tváření tahem	tváření smykem
volné ohýbání  ohýbací čelist volné ohýbání plechu	protahování  tažení průvlakem	válcování  válcování	prodlužování  natahování	kroucení  zkrucování
ohýbání v ohýbadle  ohýbání plechu v ohýbadle	tažení při plošném tváření  tažení dutých těles	zápustkové tváření  kování v zápustce	rozšiřování  rozšiřování trnem	přesazování  vyrábění excentru
zakružování  ohýbání závěsů	rotační tváření (kroužení)  tváření dutých těles	vytlačování  orýsování	přetahování  přetahování	

Formgesetze

Gesetz der Stabilität (konstant)

- Das Gesetz der Rest- und Komplementärspannungen
- Das Gesetz des geringsten Widerstands
- Das Gesetz der konstanten (konstanten) potentiellen Energie der Formänderung
- Das Gesetz der Ähnlichkeit
- Gesetz über die Nichtkonformität von elastischen Spannungen (Verformungen)
- Das Konsolidierungsgesetz
- Gesetz verängstigt

Heißprozess-Formverfahren

- **Schmieden** - kostenlos und Deponie
- **Walzen** - für die Massenproduktion einfacher Formen
- **Extrusion** - zur Herstellung verschiedener Profile, Stäbe, Rohre, Stangen, etc.

Verfahren der Kaltumformung

- **Walzen**
- **Ziehen**
- **Pressen** - Schneiden, Biegen, Spreizen, Verdrehen, Ziehen von Behältern, Schüttgutformen - Überpressen

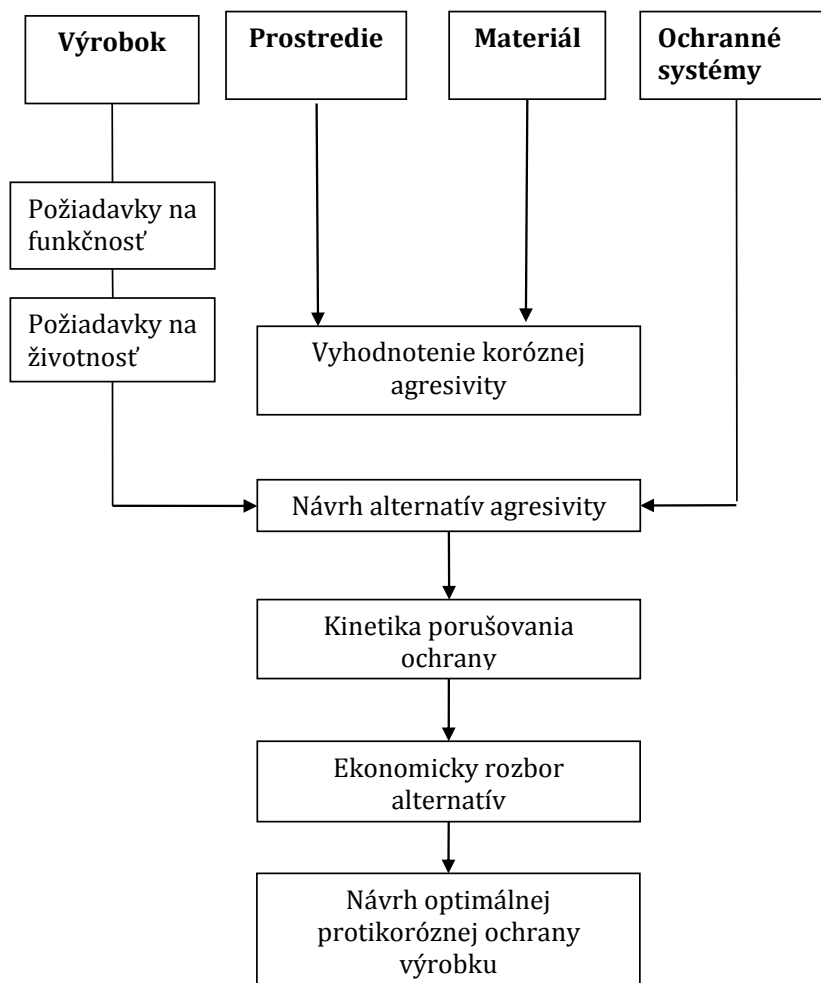
Arten der verwendeten Halbfabrikate

- Rollierend
- Barren
- Schichten

5. Oberflächenveredelung

Die Oberflächenveredelung von Werkstücken diene bisher vor allem zu dekorativen Zwecken. Es gab den Produkten ein schönes Aussehen, das mit Farbe, Glätte, Glanz usw. erzeugt wurde, was die Verkaufsfähigkeit der Produkte erhöhte. Heute ist diese Anforderung sekundär, da die Oberflächenbehandlungen für funktionelle Zwecke (z.B. Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit) bestimmt sind. Die Oberflächenbehandlung umfasst alle physikalischen, chemischen, elektrochemischen und mechanischen Prozesse, die der Oberfläche ohne den Einsatz eines Schneidwerkzeugs die gewünschten Eigenschaften verleihen.

Schema des Verfahrens zur Auswahl des Korrosionsschutzes



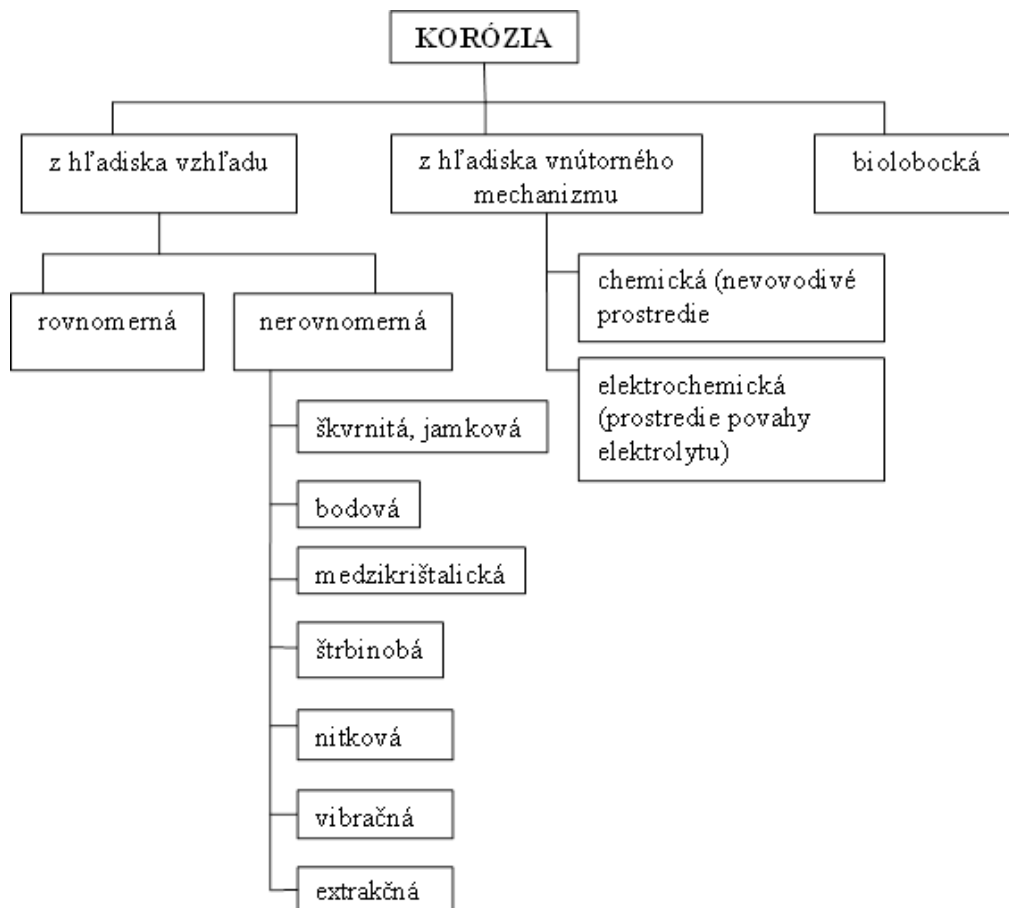
Schema zur Erfassung von Korrosionsdaten

Der Abbau metallischer Werkstoffe durch die chemische oder physikalisch-chemische Wirkung der Umgebung, d.h. Metallkorrosion, ist ein immer gravierenderes nationales

Wirtschaftsproblem auf der ganzen Welt. Die natürliche korrosive Umwelt wird durch industrielle Aktivitäten belastet und erhöht so ihre Aggressivität.

In der Chemieindustrie, Energietechnik, Elektrotechnik, Maschinenbau und anderen Industrien steigen die Anforderungen an die Metallbeständigkeit gegen Korrosion.

Diagramm der Korrosionsteilung

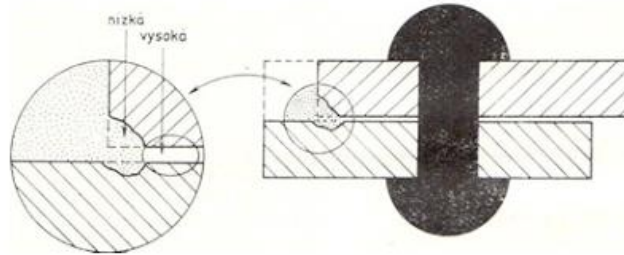




Even corrosion

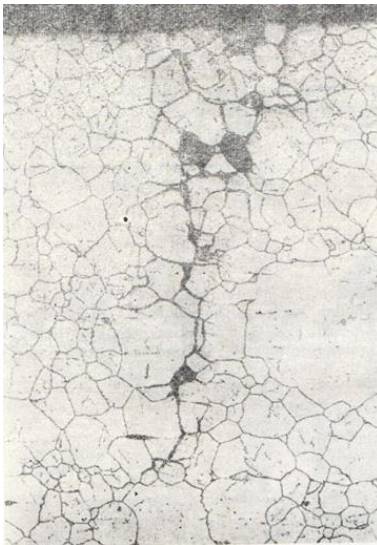


Point Corrosion



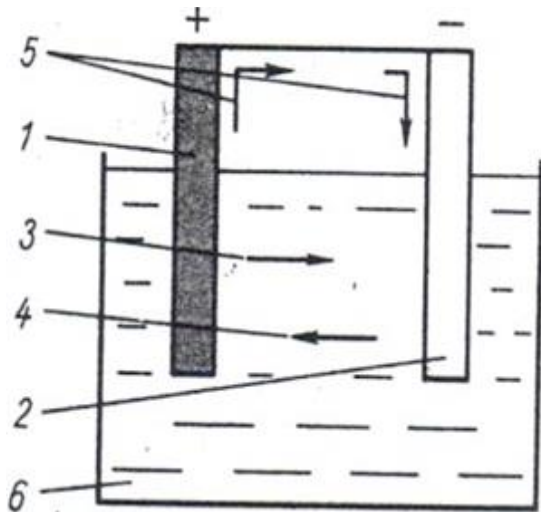
Concentration cell with varying concentrations of metal ions

Kristallkorrosion



5.1. Arten von Korrosion in Bezug auf den inneren Mechanismus

- chemische Korrosion
- elektrochemische Korrosion



Biologische Korrosion

Metalltechnisches Material kann durch einen lebenden Organismus gestört werden. Zum Beispiel frisst der Dermestes-Käfer Zn, Ag, Au und das weichste Pb. Es wurde ein Käfer beobachtet, der in der Pb-Platte in 4 Stunden $t = 0,2 \text{ mm}$ und einem Durchmesser von 3 mm überkreuzt war. Bakterien sind auch an der Zersetzung des Metalls beteiligt, das in ihrer Anwesenheit die Bildung chemischer Verbindungen bewirkt, die die Aggressivität der korrosiven Umgebung erhöhen.

5.2. Korrosionsschutz metallischer technischer Werkstoffe

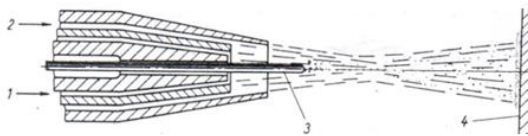
Es wird ein Korrosionsschutz durchgeführt:

- Durch geeignete Materialauswahl
- Strukturanpassung
- Korrosionsbehandlung
- Elektrischer Schutz

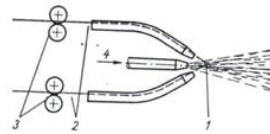
Oberflächenbehandlungen

Die Beschichtung durch Eintauchen in ein Schmelzbad - ist eine der ältesten Methoden des Korrosionsschutzes. Das Eintauchen besteht hauptsächlich aus Zn, Sn, Pb. Nach dem Erwärmen und Einweichen der Oberfläche werden die Bäder entfernt und gekühlt. Platte - Bei der Beschichtung wird die Schutzmetallschicht auf den Bauteilen durch Biegen, Gießen, Löten oder Herstellen eines zähen Metalls, Schutzmetalls oder einer Explosion gebildet.

Pistole zum Heißmetallspritzen

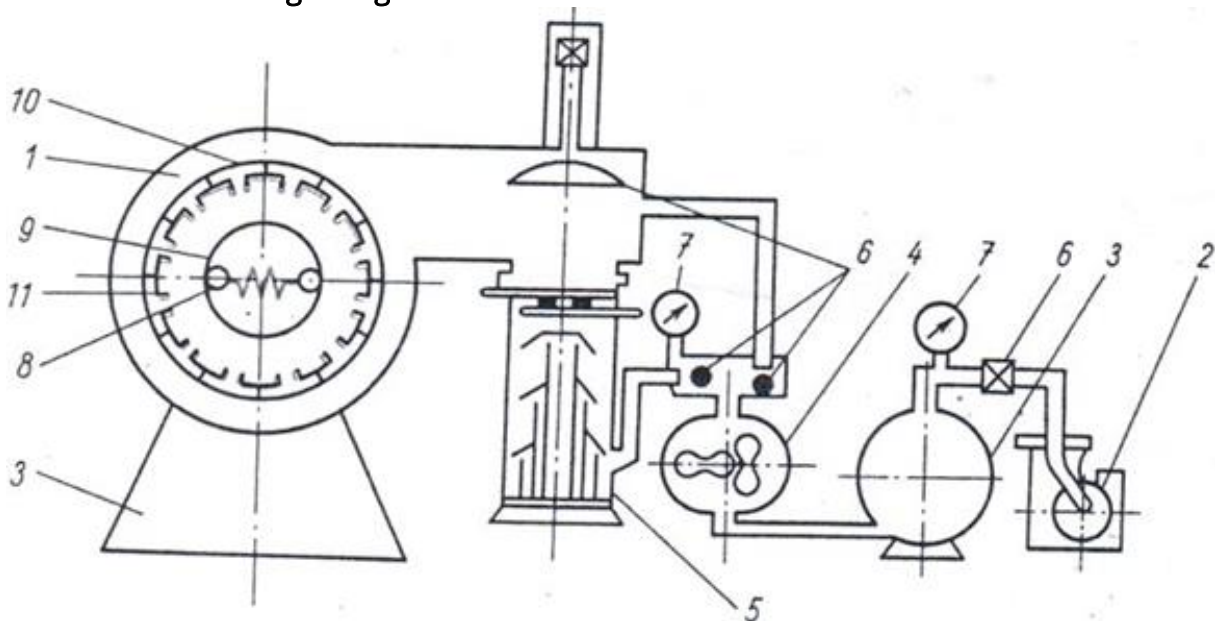


a-drätová plynová pistol: 1-směs C₂H₂ a A₂, 2-stlačený vzduch, 3-odtavující drát, 4-stříkaný předmět



b-drátová oblouková pistol: 1-elektický oblouk, 2-odtavující drát, 3-podávací kladky, 4-stlačený vzduch

Vakuumbeschichtungsanlagen



1 arbeitende Vakuumkammer, 2-Rotationsvakuumpumpe, 3-Zufuhr-Vakuumflasche, 4-Root-Vakuumpumpe, 5-Rohr-Vakuumpumpe, 6-Ventile, 7-Vakuummessung, 8-vaporisiertes Metall, 9-Halterung mit beschichteten Teilen, 11-beschichtete Komponenten

Schutzschichten und nichtmetallische Schichten

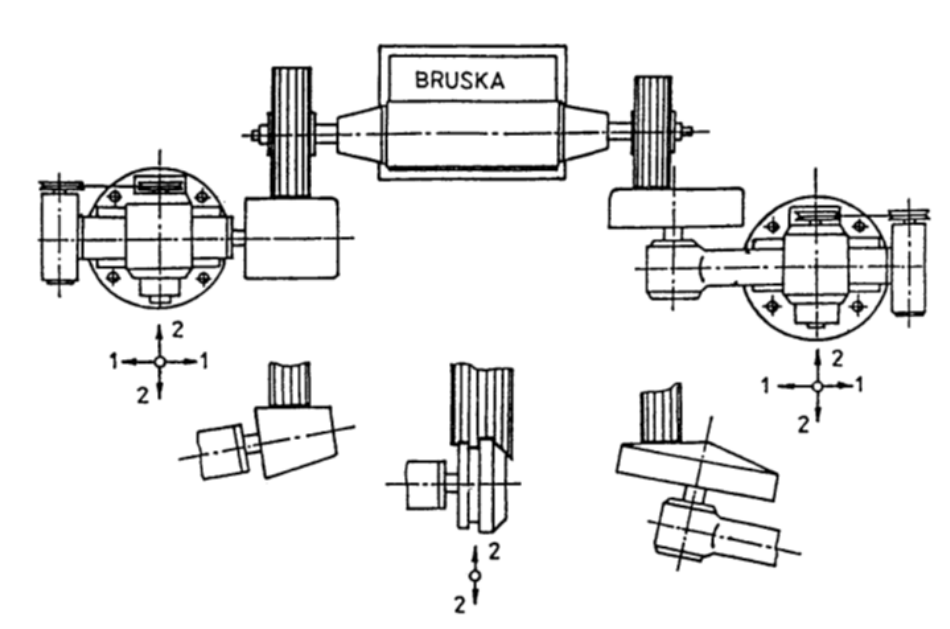
Chemische Oberflächenbehandlung:

- Oxidation
- Verchromung
- Phosphatierung
- Diffuser Schwefel und Sulfannitrierung

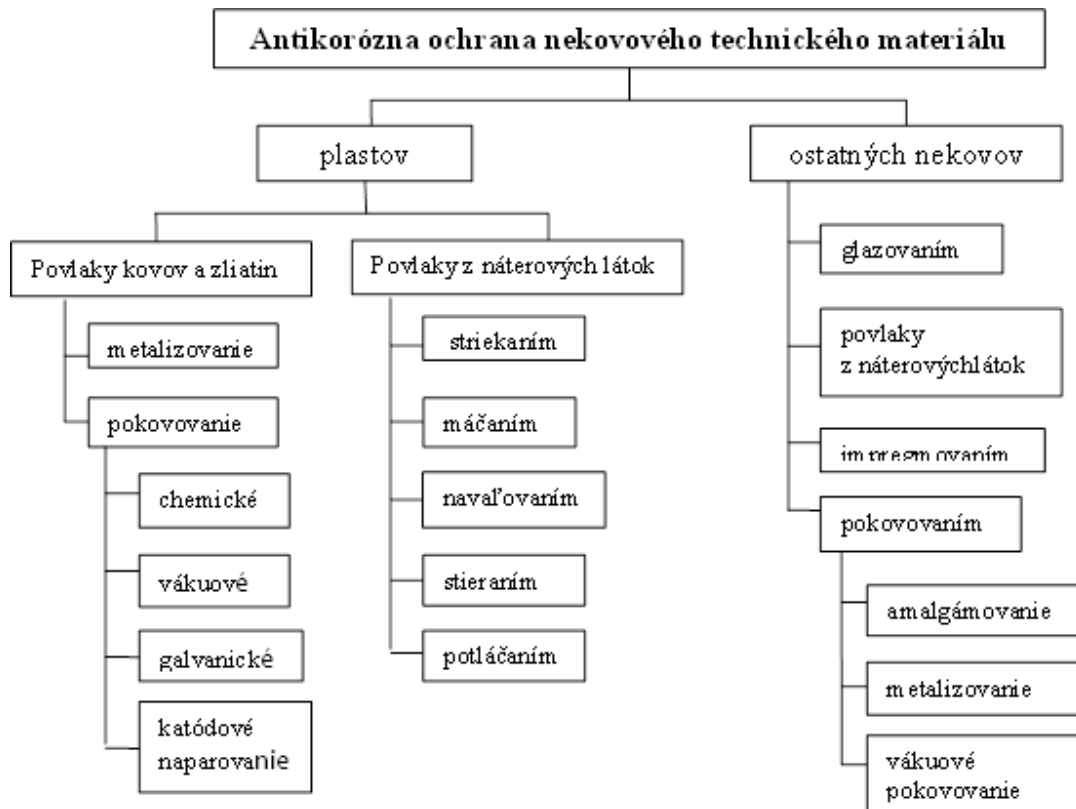
Schutzschichten und nichtmetallische Schichten

- Emaillieren
- Beschichtungen von Lacken
- Mechanische Oberflächenbehandlung
- Kunststoffbeschichtungen

Muster von Maschinen und Präparaten zum Schleifen und Polieren



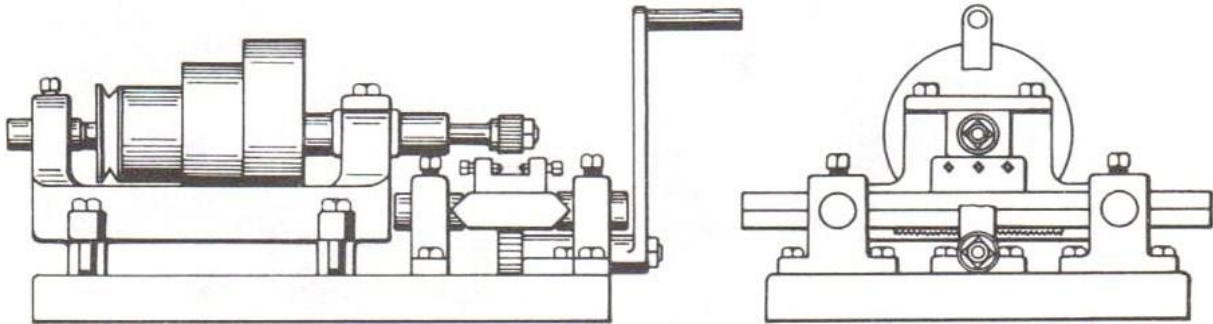
Korrosionsschutz von nichtmetallischen technischen Werkstoffen



6. Spänebearbeitung

Die Geschichte der Arbeitswerkzeuge begann vor etwa zwei Millionen Jahren zu schreiben. Einer hat angefangen Modifizieren Sie gebrauchte Gegenstände nach Ihren Wünschen.

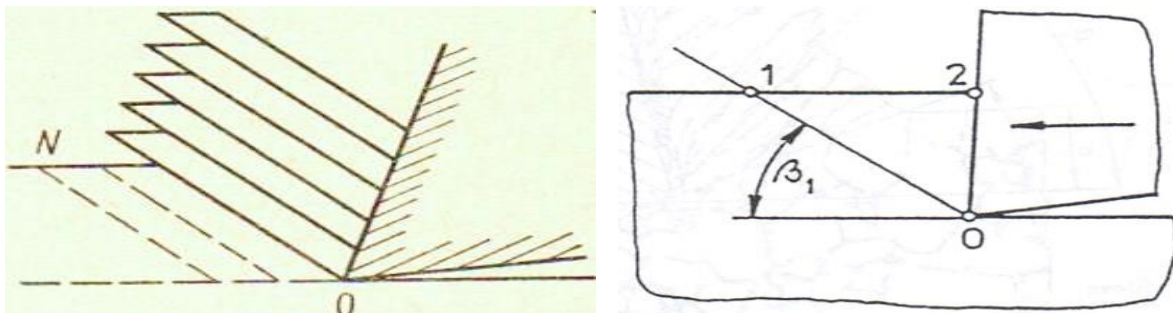
1818 wurde Morton erstmals von einer Fräsmaschine entworfen.



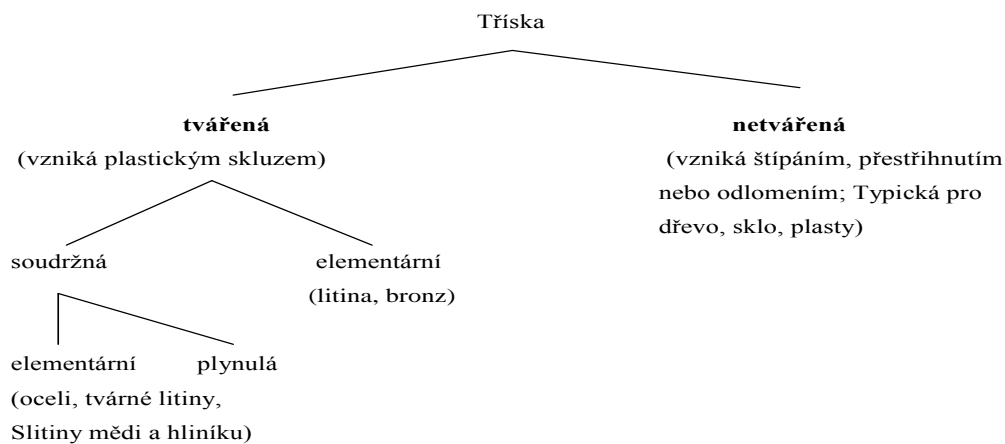
6.1. Theorie der Spanbildung

Bei der Bearbeitung des Materials wird ein Schneidkeil gebildet und ein Teil des Materials vom Rohling getrennt. Wir nennen diesen Teil einen Splitter. Bevor die Chips entstehen, entsteht eine intensive plastische Zone.

Durch den Druck eines härteren Werkzeugs und eines weicheren Rohlings wird die Verbindung seiner elementaren Teile unterbrochen. Beim ersten Kontakt mit dem Werkzeug mit dem bearbeiteten Metall (Abb.) bewirkt der Druck der Werkzeugseite zuerst die elastische und dann die plastische Verformung O12.

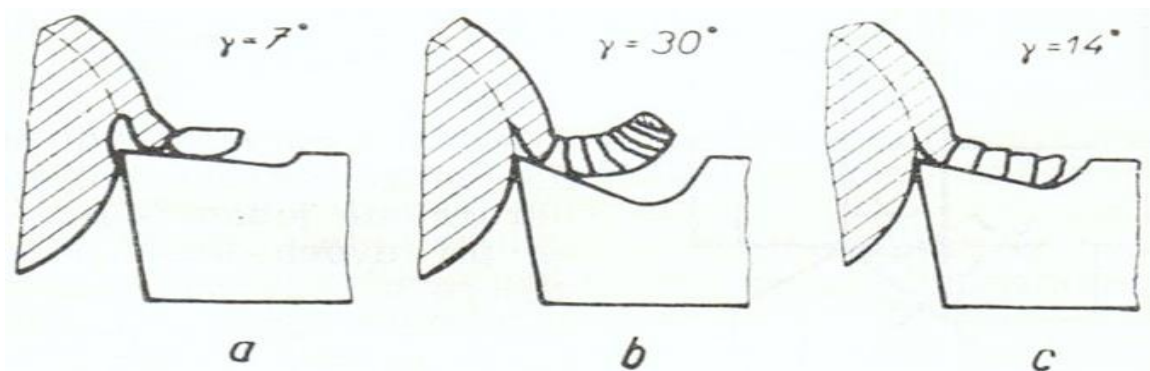


Arten von Chips und deren Aufteilung



6.2. Grundlegende Chipformen

Bei Materialien mit höherer Plastizität bleibt das abgeschnittene Material bei den Verformungsverschiebungen der einzelnen Teile der Späne intakt und bildet einen kontinuierlichen Span (Bild b). Wenn das Material der Verformungsverschiebung nicht standhält, werden Partikel der Scherschicht zu einem gebrochenen Span geformt. Sie ist entweder geteilt (Abb. c) oder brüchig (Abb. a).



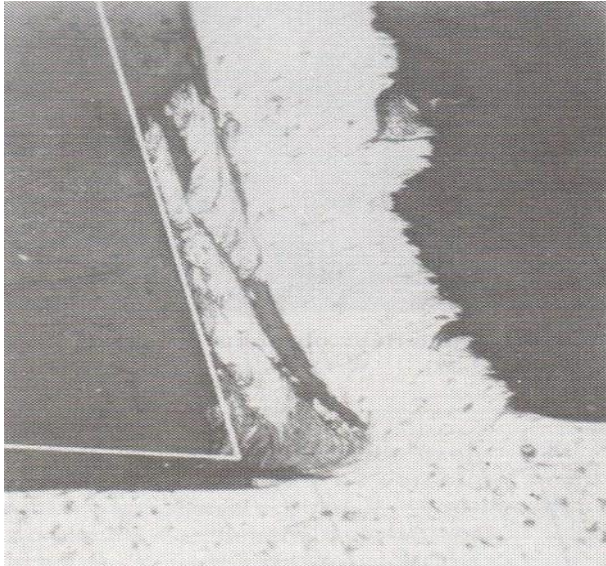
Verwendung von Linien auf Maschinzeichnungen

Die Form des Spänes hängt hauptsächlich vom Winkel der Vorderseite und der Schnittgeschwindigkeit ab. Je größer der Stirnwinkel, desto weniger der Chip wird komprimiert und gebrochen. Dann entwickelt sich der Chip gleichmäßig. Wenn der Winkel der Messerkante abnimmt, die Kompression der Späne nimmt zu, der Span bricht und zerfällt in kleinere Stücke. Dann entsteht ein Chip die Abbildung zeigt ein Beispiel für eine Zone mit einer Vergrößerung des Schneidkeils, in der die Vergrößerung von Ändert die ur-

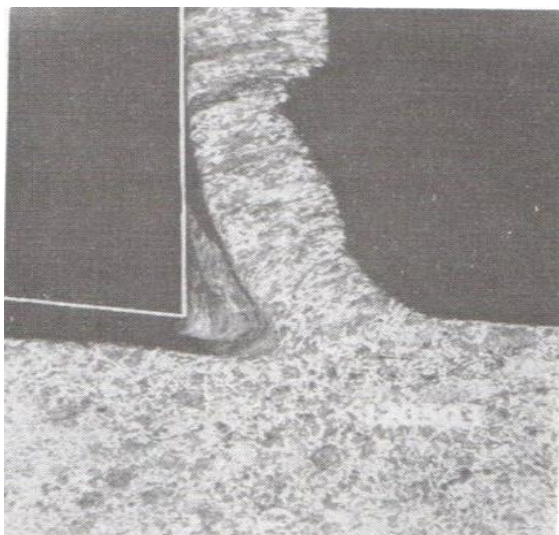
sprödlige Geometrie des Schneidkeils. Hier nimmt sowohl der Winkel der Stirn als auch des Rückens zu.

Das Material ist Stahl 12050.1, Werkzeug SK, $v = 40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 0,2 \text{ mm}$.

Metallographie des Materials des Werkstücks bei der Bildung der Späne mit einer Erhöhung der Spanzahl



Metallographie des Werkstoffs des Werkstücks während der Spanbildung eine extreme Zunahme



6.3. Schneidstoffe

Grundvoraussetzung für den erforderlichen technologischen Betrieb, die zuverlässige und gute Arbeit des Werkzeugs ist die richtige Wahl des Schneidstoffs. Das wichtigste Merkmal von Schneidwerkzeugen ist ihre Schneidfähigkeit. Aus werkzeugtechnischer Sicht beinhaltet dieser Begriff die Fähigkeit, bei ausreichender Zähigkeit die Festigkeits-eigenschaften bei hohen Temperaturen aufrechtzuerhalten und dem Verschleiß am Kontaktpunkt der Werkzeugkante mit dem Werkstück und den verbleibenden Spänen standzuhalten.

Der Werkzeugwerkstoff wird in Bezug auf seine Spannung ausgewählt. Ein Schneidkeil tritt mit hohem Druck in das Werkstückmaterial ein. Das Material wird in Form eines Spänes getrennt.

Grundlegende Eigenschaften des Materials:

- ausreichende Steifigkeit, Festigkeit, Zähigkeit, Zähigkeit
- Stabilität der mechanischen Eigenschaften auch bei erhöhten Temperaturen
- Geringe Anfälligkeit für thermische Ermüdung
- Verschleißfestigkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- Technologische Produktion und Verarbeitung

Die am häufigsten verwendeten Schneidwerkzeuge für die Metallbearbeitung:

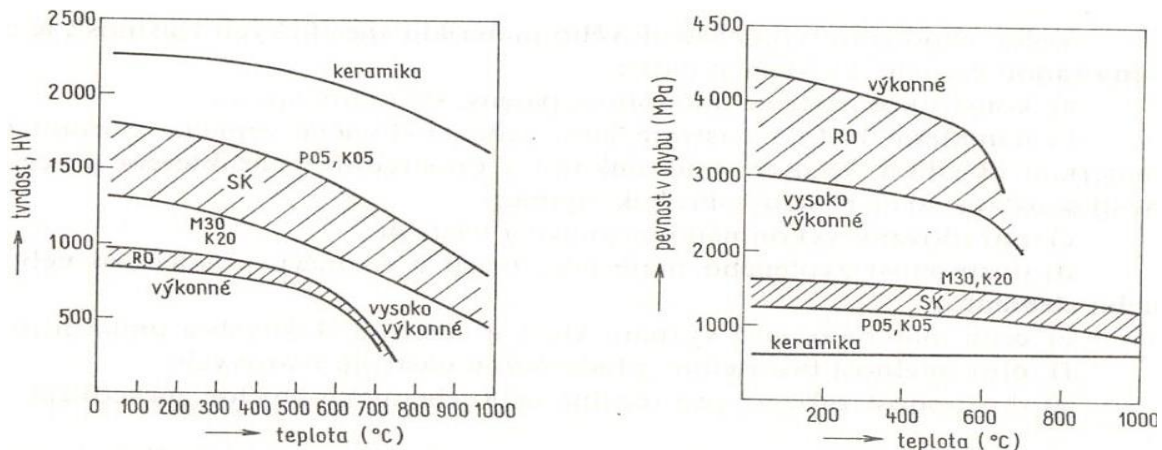
- gesinterte Hartmetalle
- Werkzeugstähle
- Schneidkeramik
- sehr harte Materialien

Die Verwendung eines geeigneten Materialtyps für ein Werkzeug wird durch einige Faktoren beeinflusst, darunter:

- Spannung der Klinge
- Anforderungen an die Lebensdauer oder Leistung des Werkzeugs
- Werkzeugauslegung
- Werkzeug und Schneidkante als Ganzes
- Erforderliche Standzeit
- erforderliche Leistung
- Verfügbarkeit des benötigten Materials
- der Preis des Materials
- Schleifbearbeitung, insbesondere für Formwerkzeuge

Schneideigenschaften der Schneide und Werkzeuge der Werkzeuge

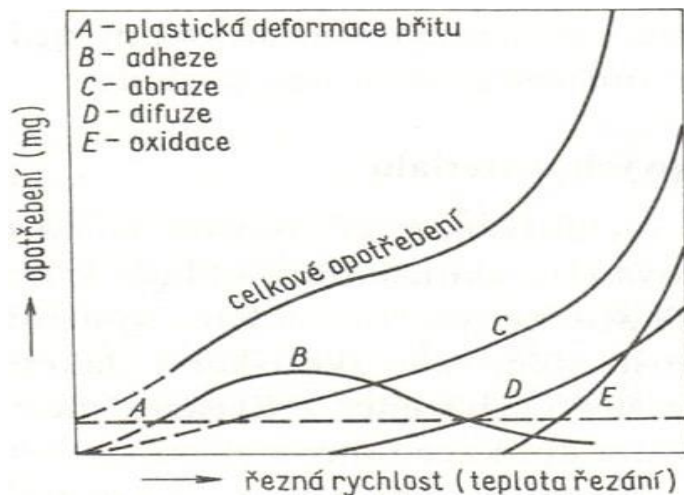
Um eine Schneidkante zu konstruieren, sollten wir eine umfassende Bewertung der verfügbaren Daten über bearbeitete Materialien und ausgewählte Schneidstoffe in Betracht ziehen. Die beste Lösung ist, sich auf die Ergebnisse strenger Tests zu verlassen. Diese Tests sind der zuverlässigste Leistungsindikator.



Die Temperaturabhängigkeit der Festigkeitseigenschaften der Stahlwerkzeuge wird unter dem Begriff Anlassbeständigkeit zusammengefasst. Diese Abhängigkeiten sind ein entscheidendes Kriterium für die Leistungsfähigkeit des Werkzeugs bei der Bearbeitung von metallischen Werkstoffen mit hoher Schmelztemperatur. Die gebräuchlichste Bewertungsmethode ist die Bestimmung der Härte des Materials bei 20 °C oder der sogenannten Heißhärte (a). Abb. B zeigt den Einfluss der Temperatur auf die Biegefestigkeit.

Verschleißmechanismen in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit

Ein weiteres wesentliches Merkmal der chemischen Schrumpfung ist die chemische Beständigkeit bei hohen Temperaturen und die Verschleißfestigkeit. Verschleißmechanismen treten an der Berührungsstelle der Schneide mit der bearbeiteten Oberfläche und dem Span auf. Zu den wichtigsten Verschleißmechanismen gehören Oxidation, Diffusion, Haftung und Abrieb. Ihr Auftreten ist mit der Interaktion zwischen Werkzeug und Arbeit, den Schnittbedingungen (Abb.) und anderen Faktoren (z.B. Schneidumgebung) verbunden.



Die Arbeitsfähigkeit des Schneidstoffs, die die Geschwindigkeit seiner Leistung umfassend bestimmt, drückt den Begriff der Steifigkeit aus. Die Steuerung wird durch die Summe der physikalischen, chemischen und technologischen Eigenschaften von Werkzeugwerkstoffen bestimmt, die die Wahl der Schneidstoffe beeinflussen. Wir müssen die Qualität der Bearbeitung berücksichtigen.

Kontrolle der Werkzeuge

Die Kontrolle des Werkzeugmaterials wird durch einen Index ausgedrückt:

$$I = \frac{V_{cT}}{V_{ceT}}$$

Wo

v_{cT} - die Schnittgeschwindigkeit wird bei der Bewertung der Schneidstoffe während der Lebensdauer des Schneidkeils T erreicht,

v_{ceT} - Die Schnittgeschwindigkeit wird vom Referenzmaterial bei gleicher Haltbarkeit des Schneidkeils T mit dem gleichen Mattierungskriterium unter den gleichen Prüfbedingungen wie beim Nennmaterial erreicht.

6.4. Materialien

Gesinterte Hartmetalle

Sie sind pulverisierte metallurgische Produkte. Ihre Entdeckung bedeutete eine Steigerung der Arbeitsproduktivität, dies bedeutete eine Erhöhung der Schnittgeschwindigkeiten. Die Grundkomponente ist das Wolframkarbid, es kann auch als Enthält Chromoxid,

Kobalt, Tantalcarbide, Molybdäncarbide, Titancarbide und Niobcarbide. Abhängig von der Anzahl der Komponenten erhalten wir Schneidstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften. Mechanische, chemische und physikalische Eigenschaften. Die jeweilige Art von gesintertem Hartmetall.

Der Hersteller ordnet einer bestimmten Verwendungsgruppe nach ISO 513 zu.

Nach dieser Norm werden Sinterkarbide in die Gruppen P, M, K und eine weitere zweistellige Zahl unterteilt.

P - geeignet für flüssige Materialien,

M - universell,

K - für Materialien mit kurzem, krümeligem Span.

- **Vorteile:** Aufrechterhaltung hoher Härte, Verschleißfestigkeit, Langlebigkeit der Schneidkante bei Temperaturen von 900 ° C - 1000 ° C.
- **Nachteile:** Zerbrechlichkeit, Biegespannung nicht tolerieren, Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschocks

Werkzeugstähle

Werkzeugstähle werden unterteilt in:

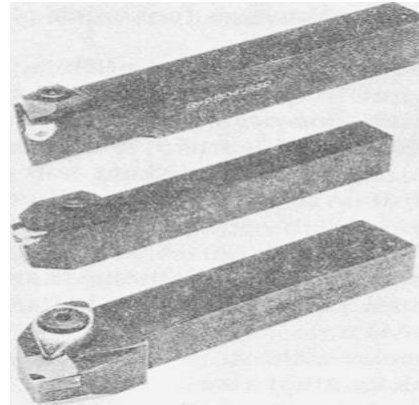
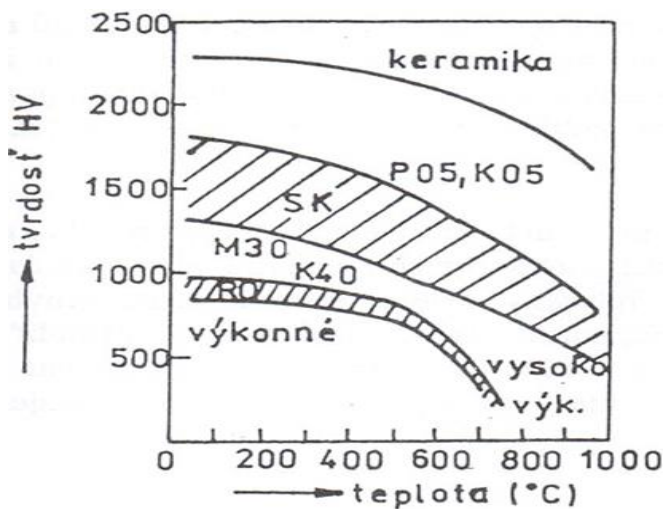
- Kohlenstoffstahl
- legierte Stähle
- Schnellarbeitsstähle
- Stahlguss

Schneidkeramik und Metallkeramik

Schneiden von Keramik und Metallkeramik, insbesondere Festigkeit und Druck. Weiterhin gute Chemikalien- und Verschleißbeständigkeit.



Abhängigkeit der Härte von Schneidstoffen - von der Schnitttemperatur



Beispiele für Schneidelemente

Grundverteilung der Schneidstoffe und deren Einsatzbereich in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit und der zulässigen Schnitttemperatur

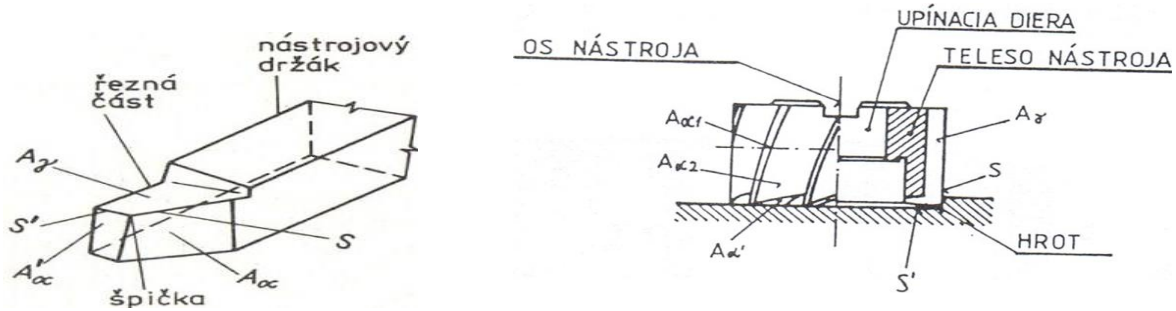
Druh RM	Řezná rychlost [m/s]	Teplota[°C]
NÁSTROJOVÉ OCELI		
uhlíkové	0,16 - 0,2	220
legované	0,2 - 0,3	280
rychlořezné	1	600
SLINUTÉ KARBIDY	4,16 /10/	1000
KERAMICKÉ MATE-RIÁLY	16,6 /25/	1400
BRUSIVA	15 - 30	1500

Schneidengeometrie

Im Allgemeinen ist ein Bearbeitungswerkzeug ein Instrument, das besteht aus:

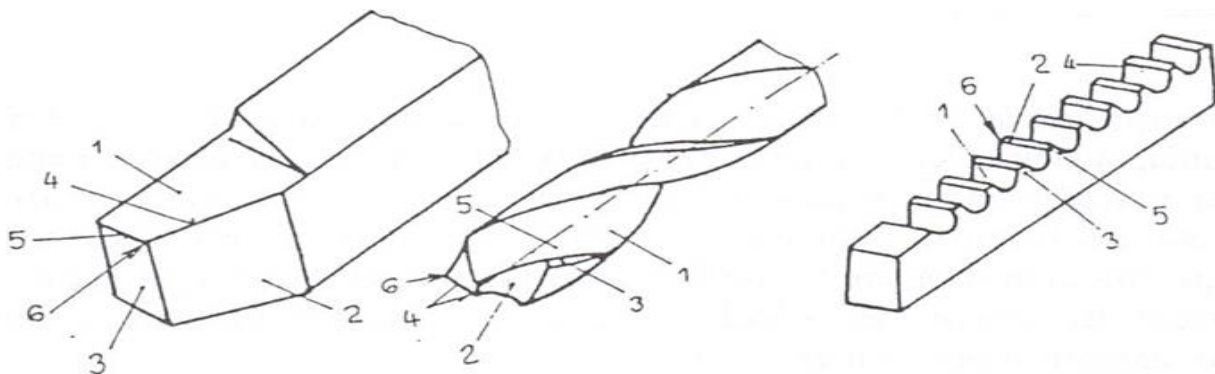
- Im Allgemeinen ist ein Bearbeitungswerkzeug ein Instrument, das besteht aus:
- Schneidkeil - gebildet durch Vorder- und Rückseite
- Werkzeugkörper - Teil des Werkzeugs, der zur Sicherung des Schneidwerkzeugs dient.
- Werkzeughalter - ein Teil des Werkzeugs, der zur Befestigung der Außenfläche dient.

- Klemmloch - Der Teil des Werkzeugs, der zur Befestigung der Innenfläche dient.
- Werkzeugachsen Basis Stirn A_{α} Hauptrücken A_{α} Nebenrücken



Schneidkeil

Der Schneidkeil ist der Teil des Werkzeugs, der die Fähigkeit hat, in das bearbeitete Material einzudringen. Der Schneidkeil bildet unterschiedlich die Oberflächen des Rückens und der Flächen. Die Seiten des hinteren Grades. Der vordere und hintere Schnittpunkt bildet die Hauptschneide, und der Schnittpunkt der Stirn und des hinteren Grades bildet eine kleine Schneide. Schnittpunkt der Stirn- und Firstflächen sind Schneidkanten (ČSN 22 00 11 Schneidwerkzeuge). Im Allgemeinen können die Oberflächen schraubenförmig, plan, zylindrisch, konisch usw. sein. Oberflächen auf verschiedenen Werkzeugtypen: 1-seitig, 2-Hauptwirbelsäule, 3-spitzig, 4-Schneide, 6. Spitze



Maschinenbearbeitung

Die Werkzeugmaschine bearbeitet den Rohling in der gewünschten Größe, Form und Oberflächenqualität. Um bearbeitete Teile der Teile zu sichern, sorgt die Werkzeugmaschine für gegenseitige Bewegungen von Werkstück und Werkzeugen.

Die Zerspanung ist eines der Kriterien für die Zerspannung von Werkzeugmaschinen. Werkzeugmaschinen werden in Typen eingeteilt:

- Drehmaschinen
- Fräsmaschinen
- Schleifmaschinen
- Bohrer
- Bohrmaschinen
- Späne
- Folien
- Winkelmesser
- Honmaschinen
- Lakopiermaschinen
- Feinstbearbeitungsmaschinen

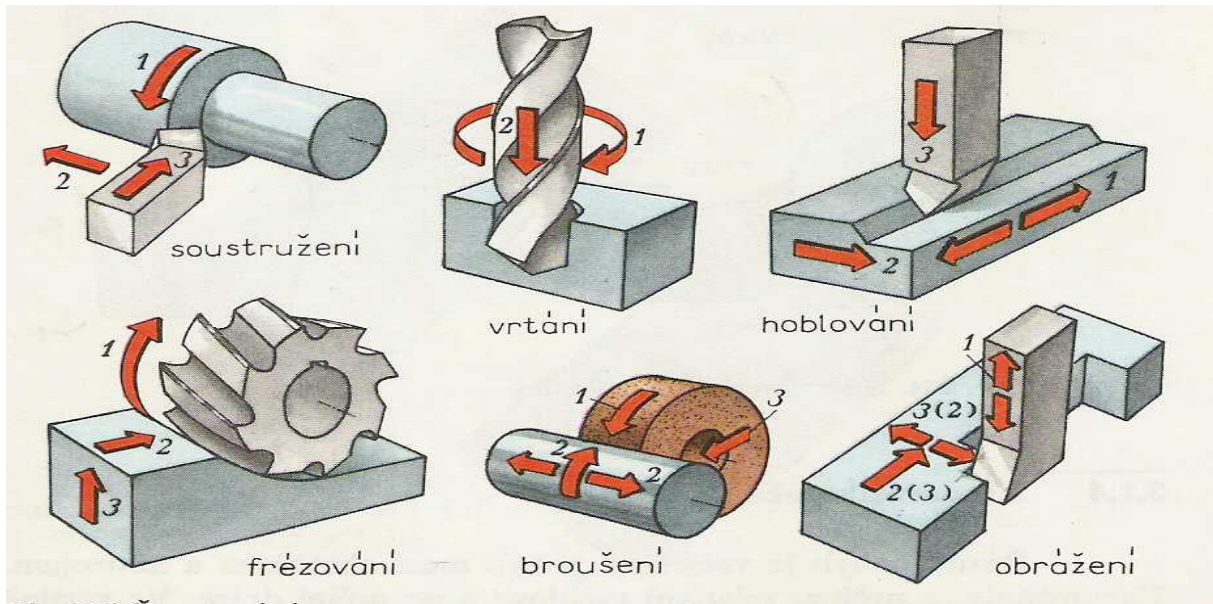
6.5. Grundbewegungen, Bearbeitungsbereiche und Schnittbedingungen

Für die Bearbeitung von Frässpänen sind die folgenden zwei Bewegungen erforderlich:

- die Hauptschnittbewegung
- Mehr Schnittbewegung

Schneiden gemäß der Hauptschnittbewegung

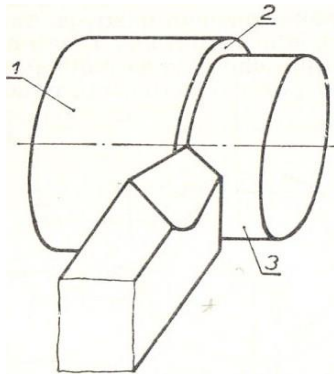
- Rotationsbewegung führt Werkstück - Drehen durch
- Die Drehbewegung wird vom Werkzeug ausgeführt - Bohren, Bohren, Reiben, Senken, Fräsen, Schleifen, Sägen.
- lineare geradlinige Bewegung führt die Arbeitsplanung durch.
- Die lineare Hin- und Herbewegung wird vom Werkzeug ausgeführt - Reiben, Extrudieren, Strecken, Rahmensägen, Sägen, Sägen, Sägen.....



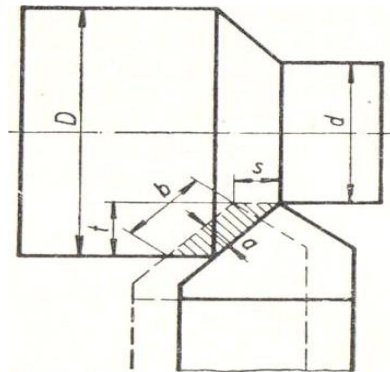
6.6. Grundflächen

Wenn der Schneidkeil in das Werkstück eintritt und es vorschiebt, werden die drei Grundflächen geformt (Abbildung 7.26):

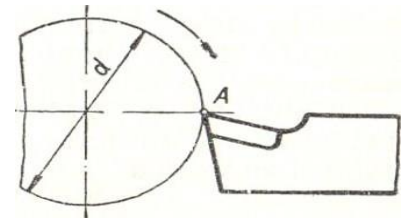
- Bearbeitete Oberfläche 1 - wird bearbeitet
- Schneidfläche 2 - Wird gerade über die Schneidkante des Bauteils hinaus
- Bearbeitete Fläche 2 - wird bearbeitet



Grundflächen
tunungsbewegung



Spanquerschnittsabmessungen



Hauptbearbei-

6.7. Drehen

Das Drehen ist der am weitesten verbreitete technologische Vorgang. Durch Drehen ist es möglich, die inneren und äußeren Zylinderflächen, sphärische und allgemeine Drehflächen zu bearbeiten. Die Drehmaschinen können mit Drehmessern oder Gewindebohrern Außen- und Innengewinde bohren, bohren, reiben, herstellen.

Die Drehmaschine und ihre Hauptteile

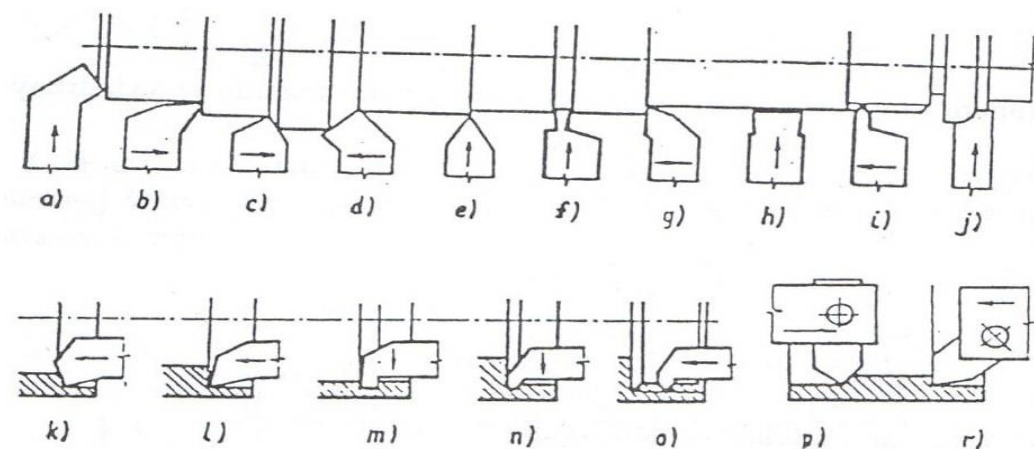


Division der Drehmaschinen

Es gibt viele Arten von Drehmaschinen. Im Allgemeinen kategorisieren wir sie nach ČSN 200200:

- Zentrierspitze
- Revolver
- Frontal
- vertikal
- Halbautomatisch
- automatisch
- Sonderdrehmaschinen

Grundtypen von Drehmessern und die Oberflächen, mit denen sie hergestellt werden können.



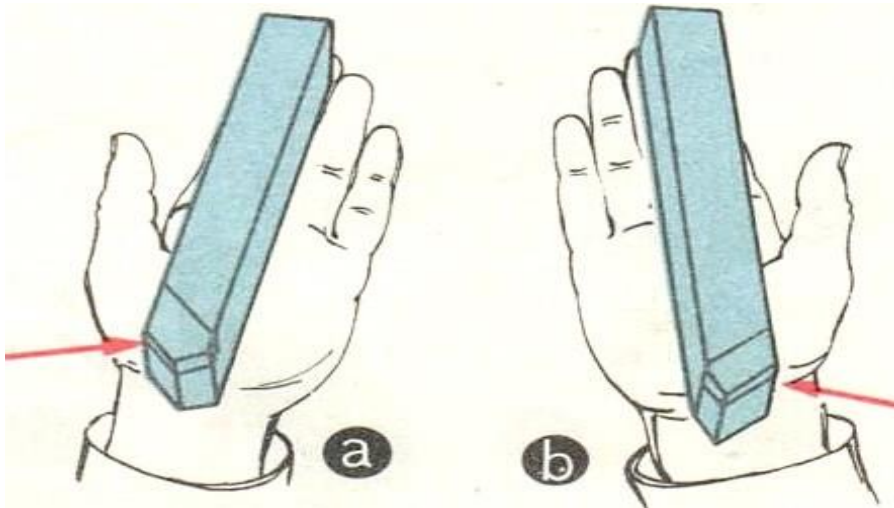
a) links gebogen, b) Ecke links, c) gerade, linkshändig, d) rechts gebogen, e) schmal, glättend, f) genutet, g) seitlich nach rechts scrollend, h) j) Radius rechts, k) Innen rechts, l) Innenecke, m, n) Innenrillen, o) Innengewinde, p) Innengerade, r)

Bestimmung von rechten und linken Messern

Bei der Arbeit verwendet die Drehmaschine ein rechtes oder linkes Messer. Mit dem rechten Messer wird die Längsseite gedreht.

Der Vorschub vom Reitstock zum Spindelstock und das linke Messer vom Spindelstock zum Reitstock. Messerrichtung mit Legt fest, wo die Hauptkante der Klinge auf der Handfläche liegt.

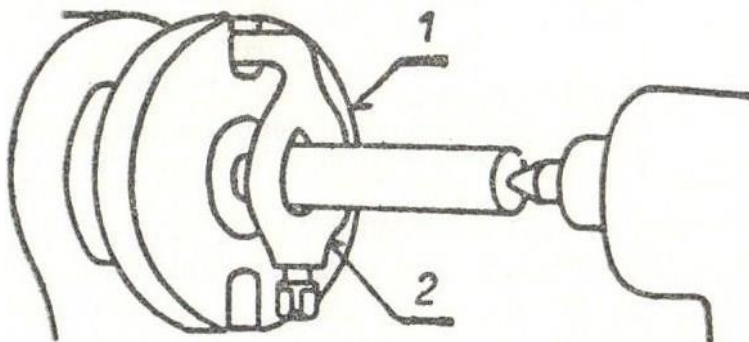
Hand, deren Spitze auf den Körper des Drehers zeigt.

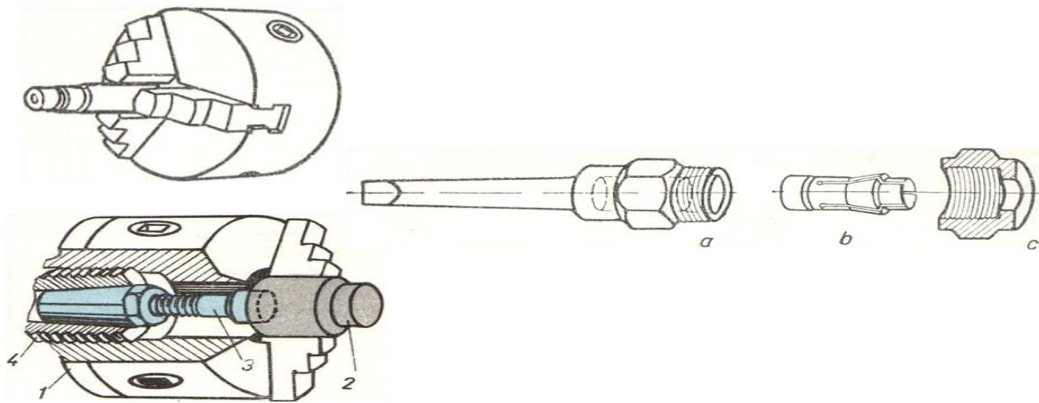


Spannen von Werkstücken beim Drehen

Wir erkennen im Allgemeinen zwei grundlegende Wege an Klemmung:

- Sanft - ohne Unterstützung
- Mit Unterstützung eines Reitstockes (Futter und Spitze, zwischen den Spitzen)





6.8. Fräsen

Die Hauptschnittbewegung ist rotierend und wird von einem Fräser ausgeführt. Die sekundäre Bewegung ist gleitend und ist vom Werkstück ausgeführt. Als Werkzeug wird ein Fräser verwendet. Es ist ein eher keilförmiges, rotierendes Werkzeug.

Die daraus resultierende Schneidbewegung der Werkzeugzähne wird durch die Zykloide entlang der Bahn verkürzt. Geschwindigkeit der Hauptleitung Schnittbewegung - die Schnittgeschwindigkeit (v_c) wird nach der Formel berechnet.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$$

Wo:

D - der Durchmesser des Schneidwerkzeugs

N - Rotordrehzahl pro Minute

V_c - Schnittgeschwindigkeit

Der Vorschub zum Fräsen wird nach dem Verhältnis berechnet.

$$v_c = f_z \cdot z \cdot n = f \cdot n \quad [\text{mm/min}]$$

Wo:

F_z - Zahnbewegung

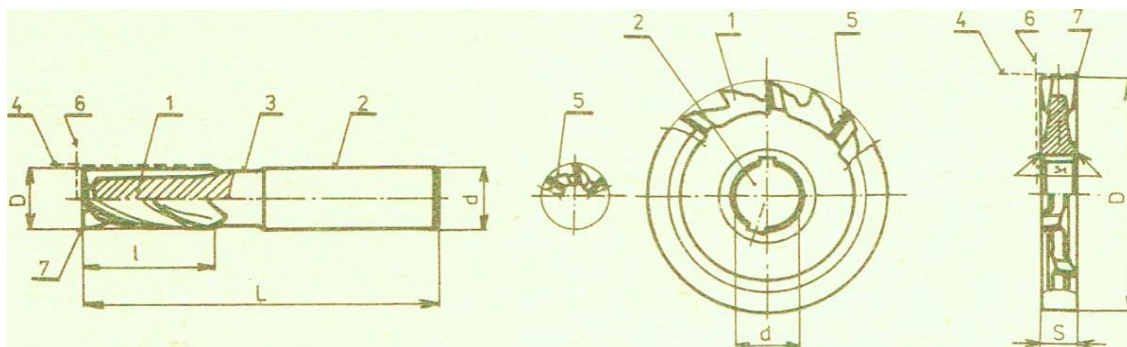
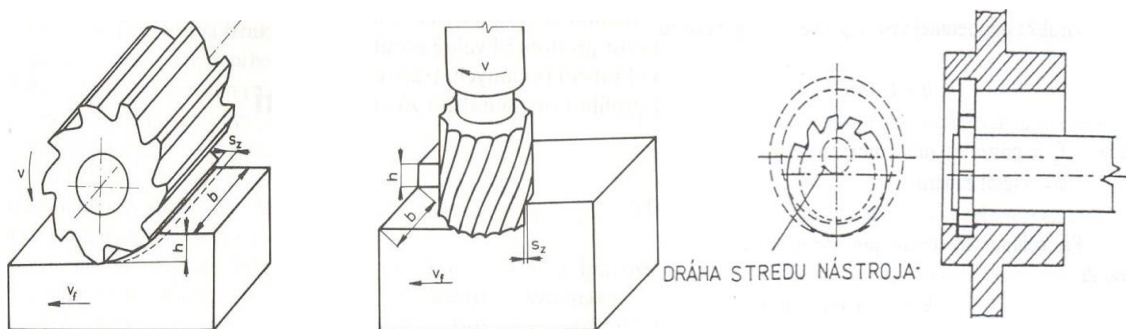
F - Vorschub pro Umdrehung

Z - Anzahl der Zähne

N - Geschwindigkeit

Abhängig von der Position der Werkzeugachse auf der Arbeitsfläche unterscheiden wir das Fräsen.

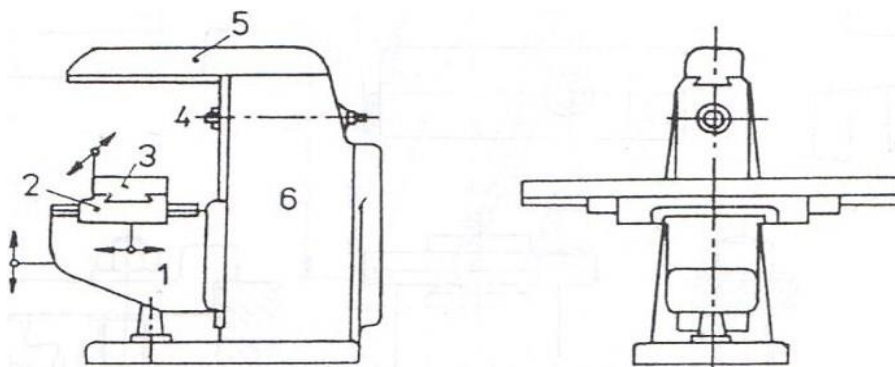
- **Zylinderfräsen** - deren Achse parallel zur bearbeiteten Oberfläche verläuft und die Schnitttiefe ist in einer Ebene senkrecht zur Achse des Fräasers eingestellt.
- **Frontfräsen** - deren Achse senkrecht zur bearbeiteten Oberfläche steht, wird die Schnitttiefe eingestellt. In Richtung der Werkzeugachse
- **Zirkularfräsen** - Die Werkzeugachse und das Werkstück werden in der Regel geschwenkt. Die Schnitttiefe wird in eine Richtung senkrecht zur Werkstückachse eingestellt.
- **Planfräsen** - Abb. 7.5



Fräsmaschinen

Fräsmaschinen werden in einer großen Anzahl von Modellen hergestellt und Größen mit unterschiedlichen maximalen Kapazitäten. Es kann sein unterteilt in vier grundlegende Gruppen: Konsole, Tisch, planarisch und speziell.

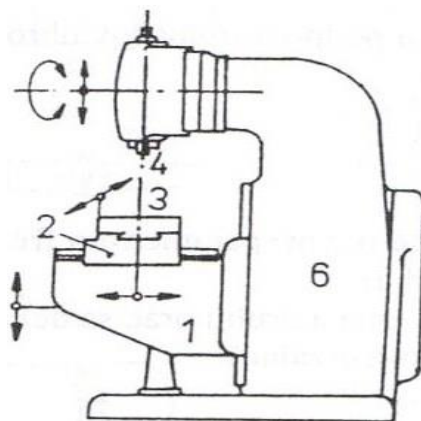
Spezielle Kategorie sind Verzahnungsmaschinen und Fräsmaschinen.



Konsolen-Horizontalfräsmaschine

Konsolen-Vertikalfräsmaschine

1-Konsole, 2-Querschlitzen, 3-Wege-Tisch, 4-Spindel, 5-Arm, 6-Ständer



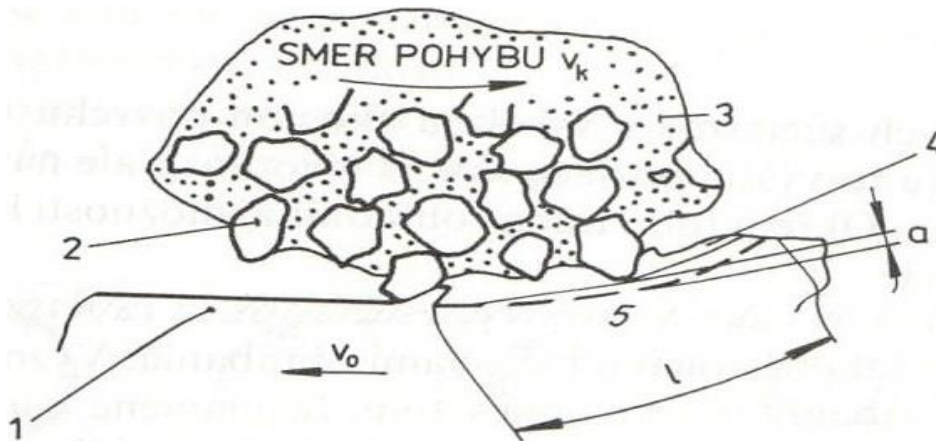
6.9. Schleifen

Das Schleifen ist ein Späneschneiden von Material mit mehreren Schneidkörpern. Schleifkörner werden mit einem Bindemittel im Werkzeug befestigt, so dass das Werkzeug hat eine poröse Struktur. Merkmal ist unregelmäßig Anordnung der Schneidkeile (Schleifkörner), die zusätzlich zufällig sind. Ausrichtung und zufällige Geometrie. Die Besonderheit des Schleifens besteht darin, dass der Prozess wie folgt abläuft dies geschieht unter Beteiligung einer großen Anzahl relativ kleiner Körner in kurzen Abschnitten. Der Chip wird in relativ kurzer Zeit von ca. 0,001 % abgeschnitten. Sekunden. In der Regel wird der größte Teil dieses Zeitraums benötigt für den Einsatz am Plastische Verformung (durch Kompression und Aufzeichnung des Materials vor dem Schneiden) Keil. Durch hohe Schnittgeschwindigkeiten und starke Verformung die Materialschicht erzeugt eine Temperatur an der Schnittposition 1200 - 1500°C.

Betrieb von Schleifscheibenkörnern während des Prozesses

Die Essenz jeder Mahlmethode ist die Entfernung von Abriebkörnern als Effekt der Mahlkorneffekte.

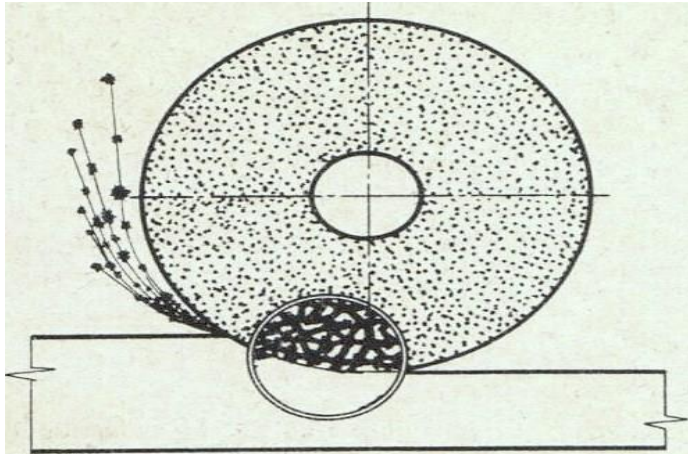
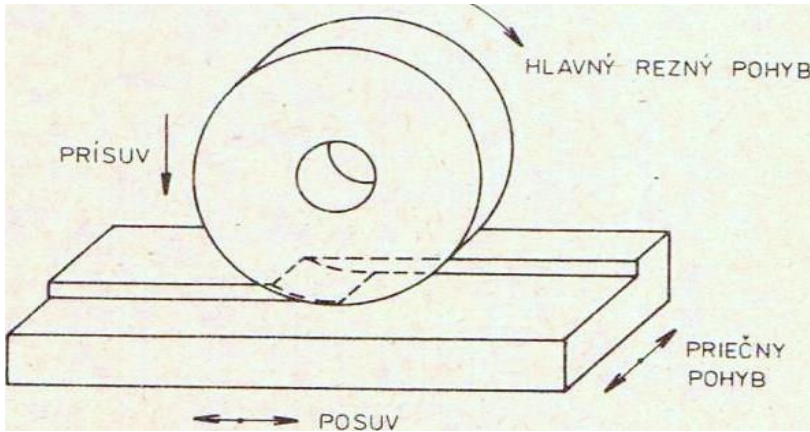
Für bearbeitete Materialien. Dies ist die Verbindung von Korn und Material des Werkstücks.



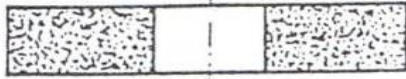
1-Werkstück, 2-Körnung, 3-Binder, 4-Schnittmaterial, 5-Späne,

V_k -periphere Scheibengeschwindigkeit, a -Tiefe, Cut-off-Schichten, V -periphere Scheibengeschwindigkeit

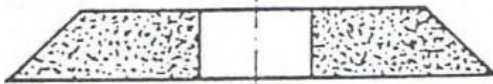
Haupt- und Nebenbewegungen und Schleifvorgang der Klinge



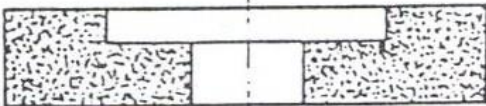
Form der Schleifscheiben



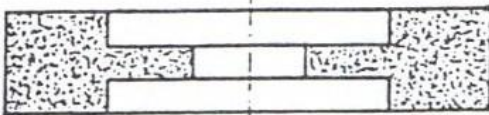
a) plochý brusný kotouč



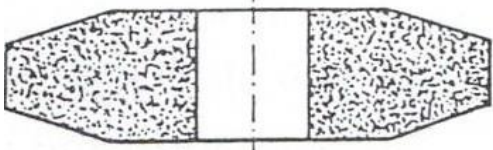
b) brusný kotouč jednostranně skosený



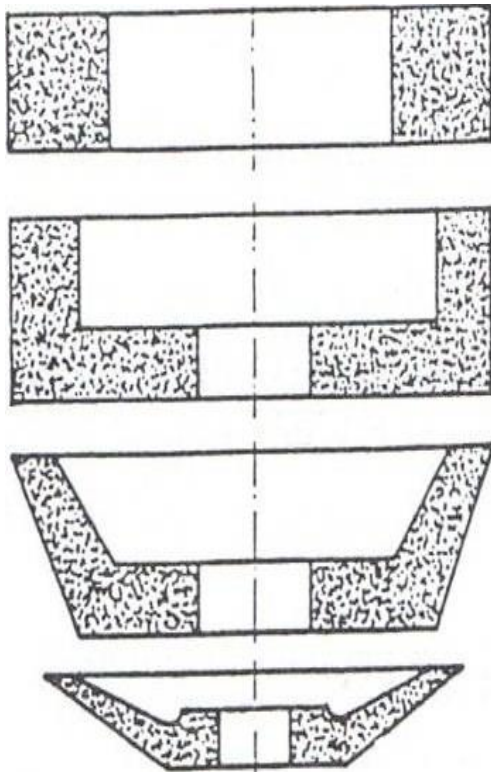
c) brusný kotouč s jednostranným vybráním



d) brusný kotouč s oboustranným vybráním



e) brusný kotouč oboustranně kuželový



f) prstencový brusný kotouč

g) hrncový brusný kotouč,

h) miskový brusný kotouč,

i) talířový brusný kotouč

Klassifizierung von Schleifmaschinen

Abhängig vom Zweck und der Art und Weise, wie wir arbeiten, sortieren wir das Schleifen.

Maschinen für:

- Bolzen
- Ohne Notwendigkeit
- Auf Bohrungen (Löcher)
- Planar
- Werkzeugbau
- Paralleler Plan

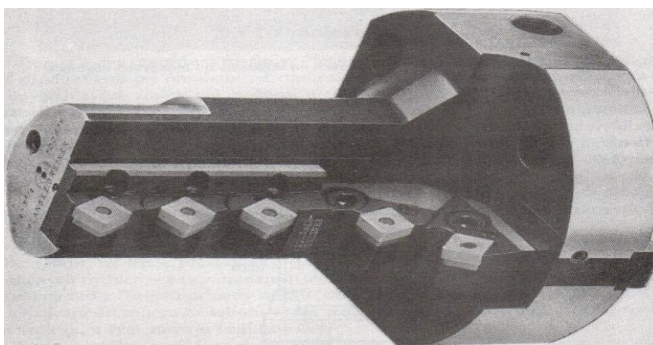
Werkzeugschleifmaschine



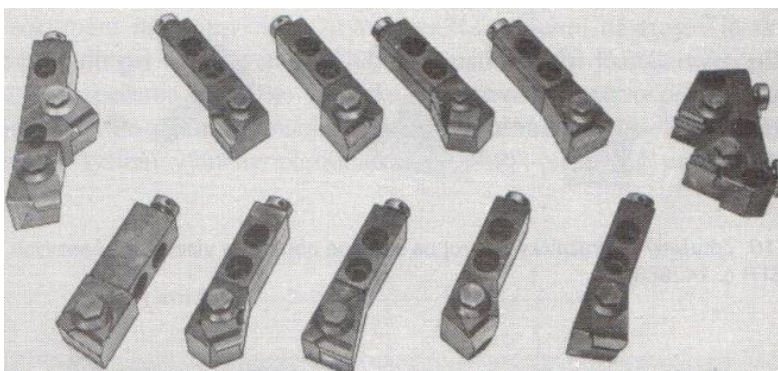
Instrumentierung eines automatisierten Fertigungssystems

Das Werkzeugsystem ist einer der Faktoren, die es bedingt. Betriebssicherheit von automatisierten Fertigungssystemen. Zuverlässig und Hochleistungs-Schneidwerkzeuge sind die Voraussetzung für effiziente i Stabiler Betrieb eines automatisierten Fertigungssystems. Schneidwerkzeuge auf die Analyse bestehender Systeme kann unterteilt werden in:

- Normalisiert,
- Kombiniert,
- Werkzeugköpfe
- Mehrspindelköpfe
- Spezielle Schneidwerkzeuge.



Kombiniertes Blockwerkzeug



Satz Messerhalter mit beschichteten Schneideinsätzen für Lagerblöcke

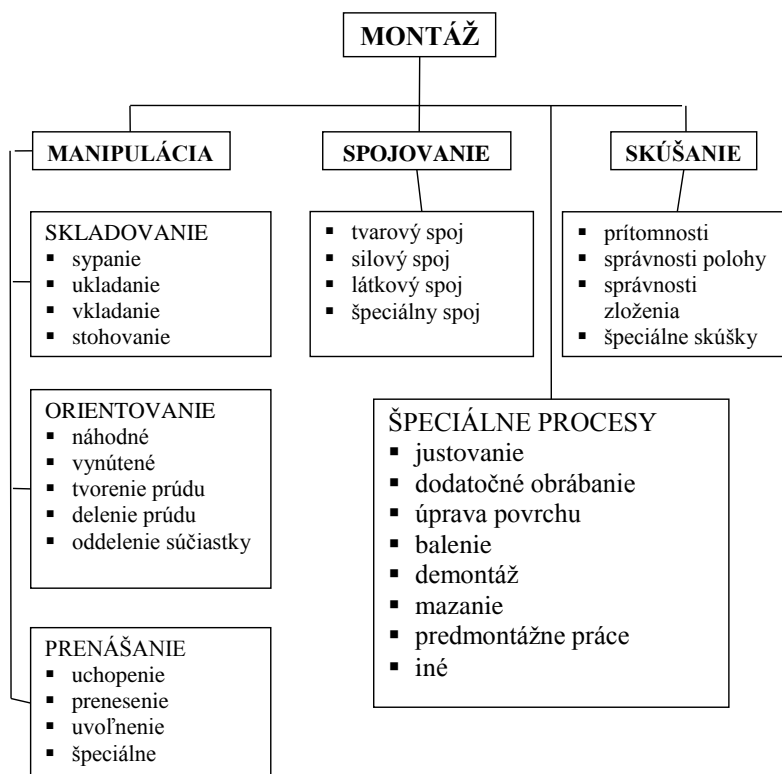
7. Montage- und Reparaturtechnik

Montage ist die Herstellung von festen oder beweglichen Verbindungen zwischen starren Bauteilen, aber auch zwischen Flüssigkeiten und Gasen. Die Baugruppe bildet den endgültigen Prozess des Produktionssystems. Das Produktionssystem kann als Produktionsunternehmen verstanden werden. Dann ist das Montagesystem nur noch ein Subsystem des Produktionssystems.

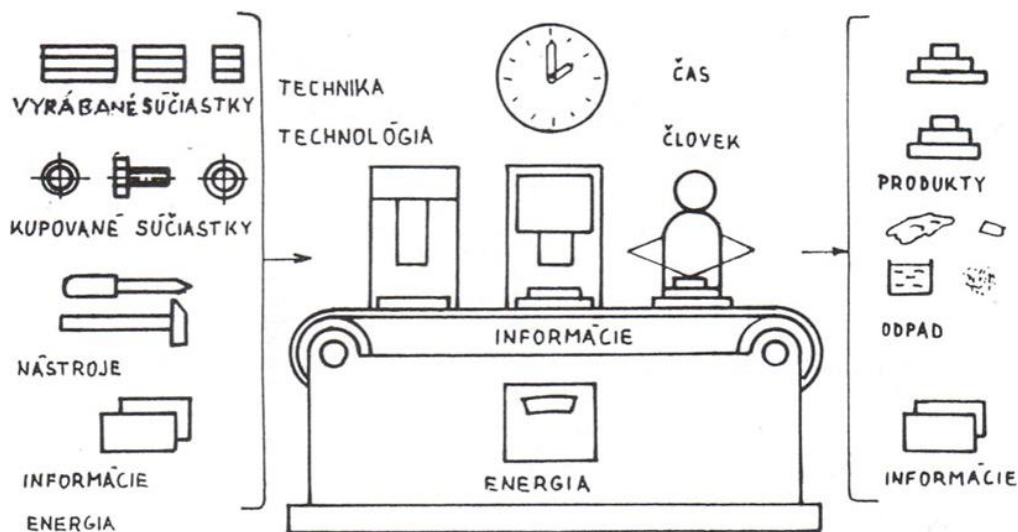
Die entscheidenden Elemente des Subsystems Montage

- Montageprodukt
- Montagetechnik
- Montagetechnik (Möglichkeiten, die Verbindungen der gewünschten Funktion herzustellen)
- Mann in der Montage
- Informationssystem
- Energiesystem

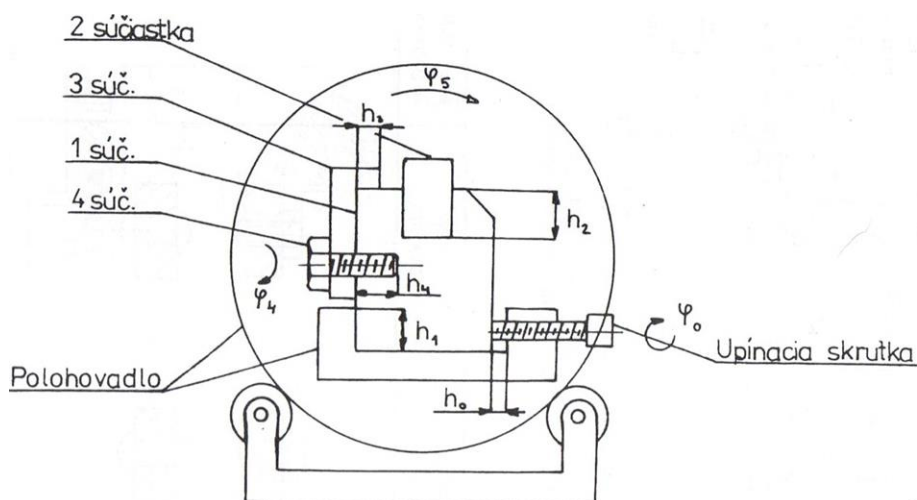
Grundlegende Montagetätigkeiten



Schema des allgemeinen Montagesystems



Der Begriff der Montage Verfahren zur Beurteilung der Technologie der Konstruktion in Bezug auf die Montage



Grundlagen der Montagearbeiten

- Form- und Positionskontrolle
- Schraubverbindungen
- Verbindungshalsbänder, Keile und Stifte verbinden
- Gleitlager
- Rollenlager
- So Komponenten zur Übertragung von Drehbewegungen
- Mechanismen zur Bewegungsänderung

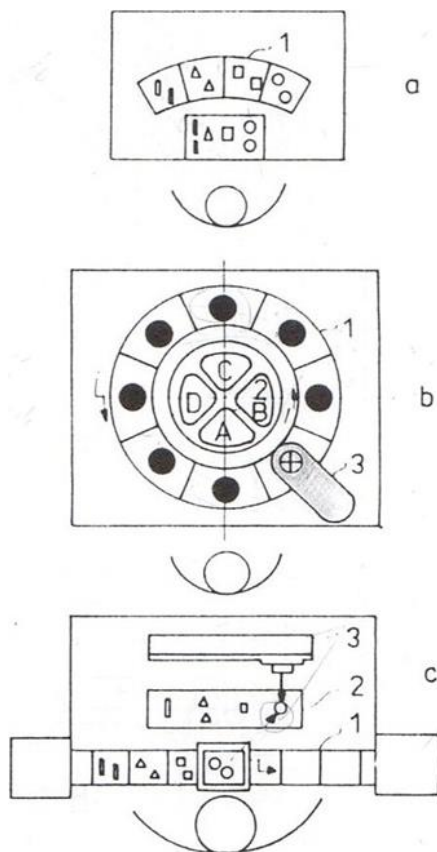
7.1. Montagearbeitsplatz

Der Montagearbeitsplatz ist ein definierter Raum mit der entsprechenden technischen Ausstattung. Die Arbeitsplatzausstattung ist für die manuelle, mechanisierte oder teilautomatisierte Montage durch eine oder mehrere Personen ausgelegt.

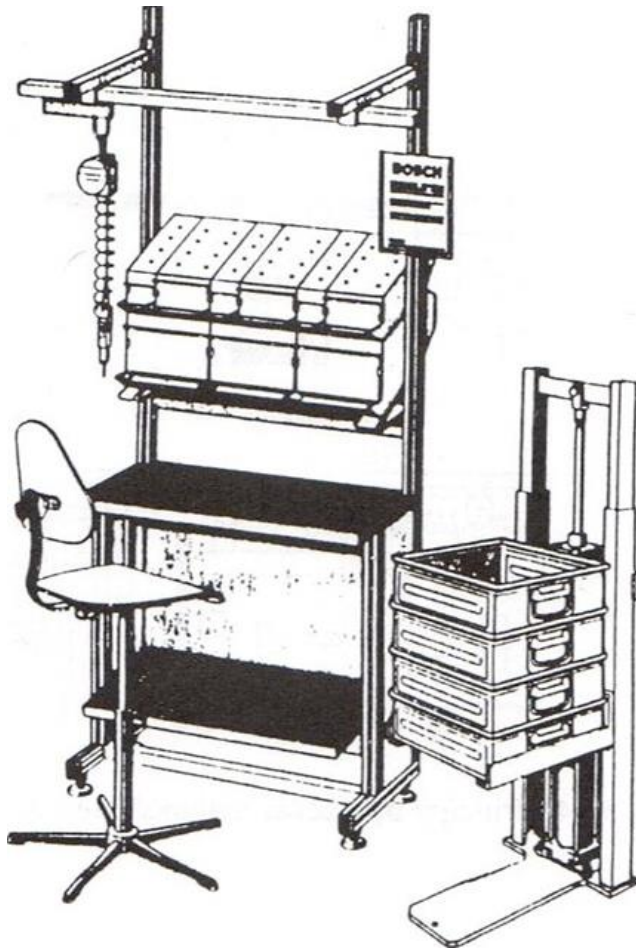
Typische Teile des Montagearbeitsplatzes

- Montagetisch
- Hocker
- Fußstütze - es ist eine verstellbare Fußstütze.
- Motorisierte Werkzeuge, die mit Hilfe von Auswuchtmaschinen auf Halterungen montiert werden.
- Kastenschalen
- Lokale Beleuchtung
- Schulter- und Unterarmunterstützung

Montagearbeitsplatz



Leichter Desktop-Montearbeitsplatz von BOSCH



Die Montagevorrichtung wird auch an den Montagearbeitsplätzen installiert.

- Grundeinheiten der Demontageausrüstung,
- Basiseinheiten von Montagegeräten,
- Basiseinheiten für Einzelarbeitsplätze,
- Basiseinheiten für Montagemaschinen und -linien,

Die Montageausrüstung ist eine Montagetechnik.

- Manuell betriebene (übertragene) Ausrüstung,
- Manuelle Montage,
- Maschinenmontageausrüstung,
- Montagelinien,
- Stationäre Gebäudeeinheiten

7.2. Roboterontage

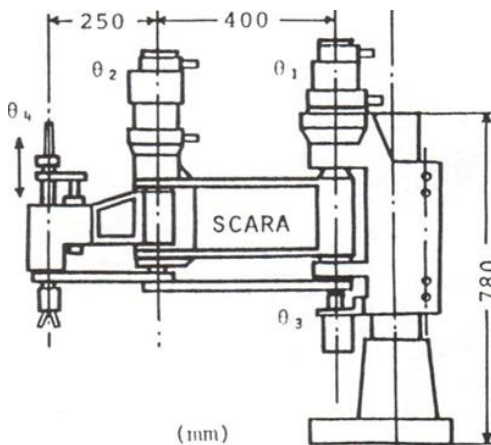
Roboter werden im Allgemeinen als frei programmierbare Geräte betrachtet. Er hat drei oder mehr Freiheitsgrade. Diese sind in einem Gerät zusammengefasst. Der Portalroboter arbeitet in drei kartesischen Koordinaten.

Roboter mit rechteckigem Arbeitsbereich

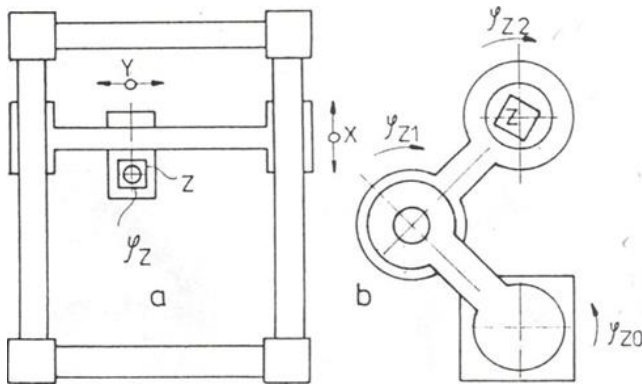
Die Argumente, welche dieser Strukturen für die Montage vorteilhafter sind, sind die folgenden (Valentovič, 2001):

- Die SCARA-Säule verhindert den Zugriff auf das montierte Produkt durch die Säule.
- Die Palette mit den Komponenten und das montierte Produkt sind im kartesischen System aufgelistet, die Programmierung des kartesischen Roboters erfordert keine Neuberechnung.
- Die Positioniergenauigkeit des vertikutierten SCARA-Roboters ist kleiner als die des gepackten, die Genauigkeit des kartesischen Roboters ist über das gesamte Arbeitsfeld etwa gleich.
- Im Allgemeinen sind die Drehpaare der SCARA-Roboter einfacher, steifer und weniger greifbar als ein lineares Paar kartesischer Roboter, bei denen die Portalstütze in ihrer höheren Spannweite ein erhebliches Problem in Bezug auf Gewichtsminderung und Präzisionsfehler darstellt.

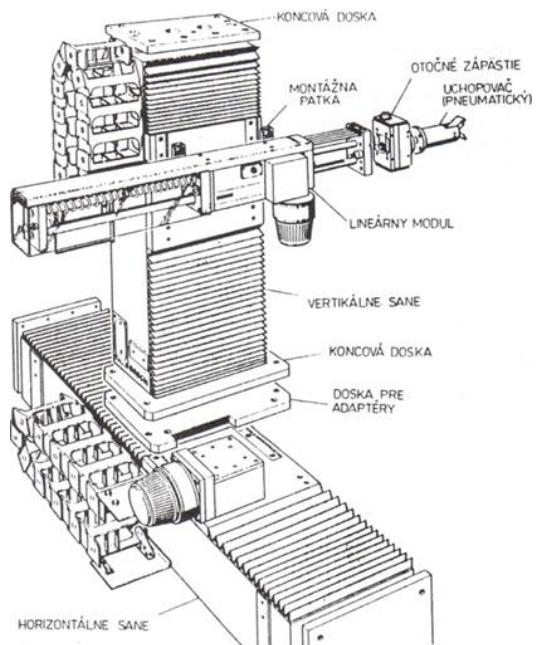
Der erste Prototyp des SCARA-Roboters



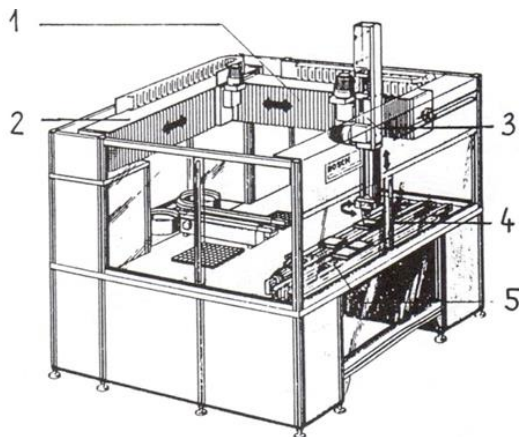
Montage von Robotern



Roboter mit rechteckigem Raum (BOSCH)



Roboterzentrum (BOSCH) mit Vibrationskomponentenzuführung und Trägerband



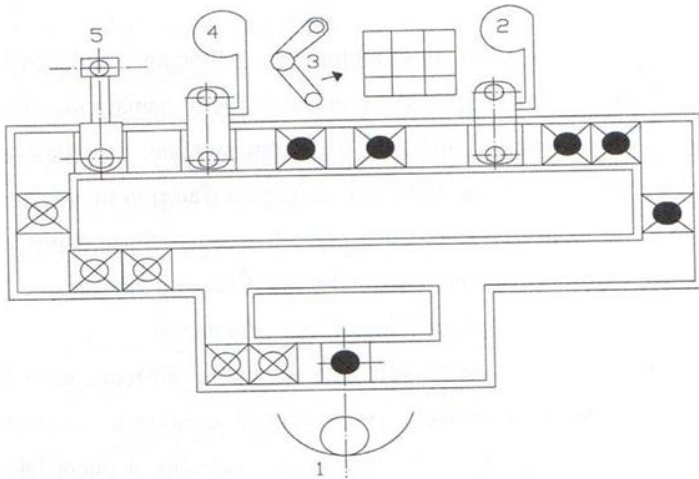
7.3. Architektur von robotergestützten Montage- getechniken

- Montagearbeitsplatz mit einem Universalroboter
- Der Roboter als Synchronstation oder asynchrone Linien
- Arbeitsplatz als Mini-Linie mit zwei Robotern
- Flexible Montagelinie mit umlaufenden Stützen
- Montagelinie SMASH
- Ein technologisches Robotersystem

Automatische Montagesysteme

- Es entstehen asynchrone Maschinen aus automatischen Montagelinien, mit denen wir die Abläufe automatisieren können.
- Asynchrone Linien - Produkte können in einer Linie ohne Träger bewegt werden, d.h. mit einem flachen Boden zum Mitnehmen. Das Basisteil fungiert auch als Treiber.

Liniendiagramm von asynchronen Montagesystemen



Alternative (1), Roboter (3), Montagestationen (2), Entlademanipulatoren (5)

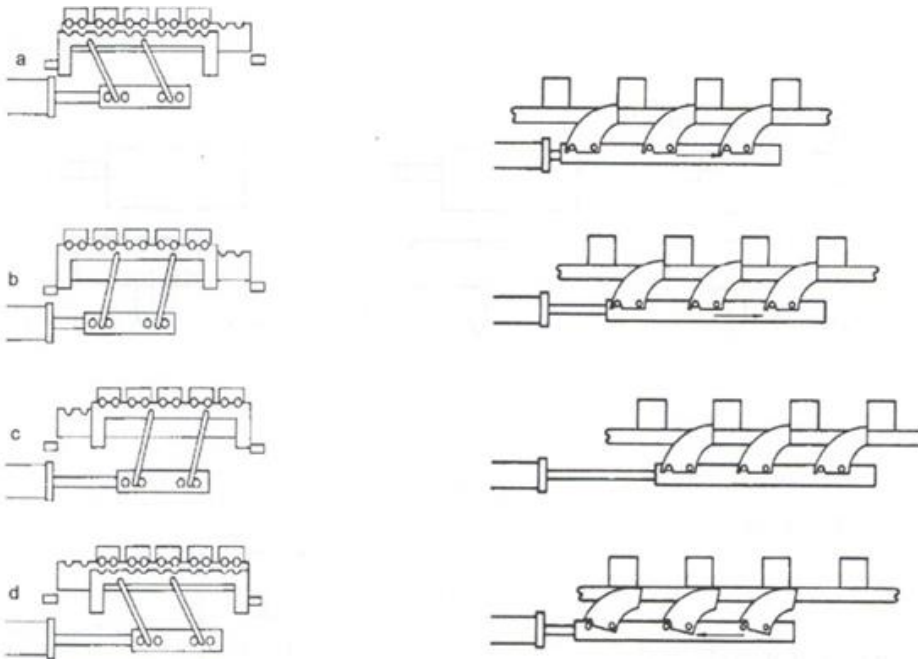
Synchrone Montagemaschinen werden als Mehrplatzmaschinen gebaut, gewöhnliche Automaten, für die sie gültig sind.

- Zwischen dem Transportmedium und dem technologischen Träger besteht eine feste Verbindung, der Träger mit der Klemme des teilmontierten Produkts bewegt sich gleichzeitig mit dem Medium,
- Alle auf dem Transportmedium vorbereiteten Träger bewegen sich synchron. Synchronität ist Parallelität in der Zeit, gegenwärtig,
- Alle Arbeitsplätze arbeiten synchron. Der Arbeitszyklus beginnt gleichzeitig und kehrt nach seinem Ende zu seinem Ausgangspunkt zurück. Die Zykluszeit der einzelnen Arbeitsplätze ist gleich, aber die Teilzyklen innerhalb des Gesamtzyklus dürfen nicht gleich sein, die Rückkehr der Arbeitsorgane in die Ausgangsposition darf nicht mehr gleichzeitig erfolgen,
- Bei Synchronmaschinen wird die aktuelle Arbeit an allen Arbeitsplätzen bei gleichzeitiger Verdrängung der montierten Produkte von jedem der vorherigen Arbeitsplätze abwechselnd durchgeführt.

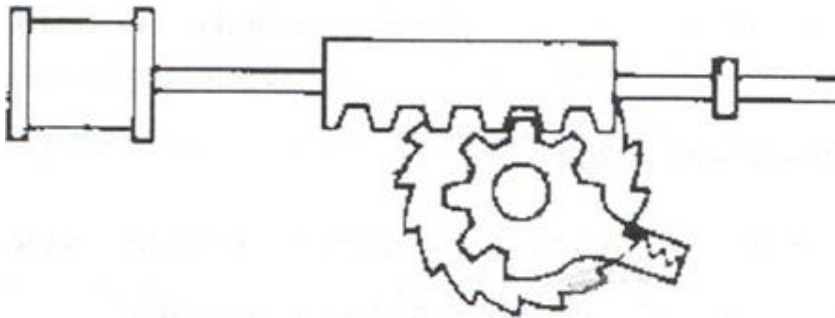
Klassifizierung von Synchronmaschinen nach:

- Geradlinige, gebohrte lineare Teile von geschlossenen Kreisläufen, geradlinige Teile von baumartigen Kreisläufen,
- Runde, gebohrte geschlossene Kreisläufe, nicht nur kreisförmig, sondern auch beliebig, z.B. oval, polygonal, meist viereckig.

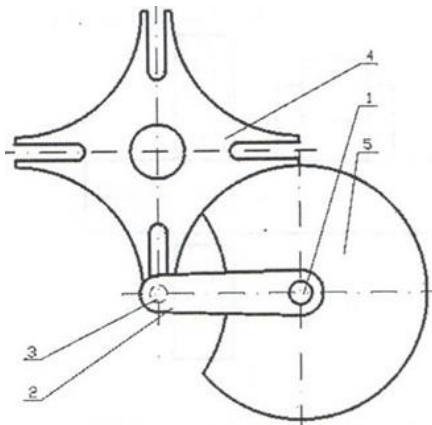
Verbindung von Antrieben mit Mechanismen



Zahnstangenstange



Klassischer maltesischer Mechanismus

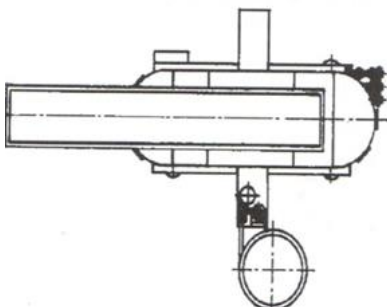
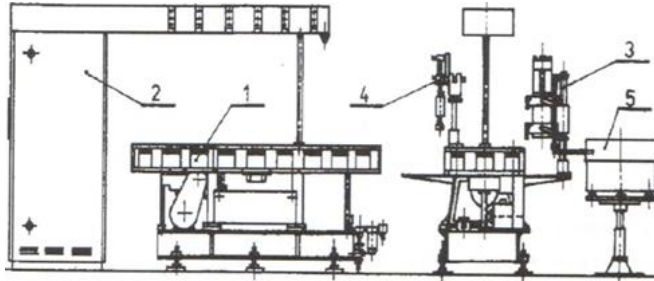


Technologische Systeme von Synchronmaschinen werden im Allgemeinen unterteilt in:

- Maschinen mit zentralen Antriebseinheiten
- Maschinen mit Einzelantrieben

Linearer Synchron-Automat

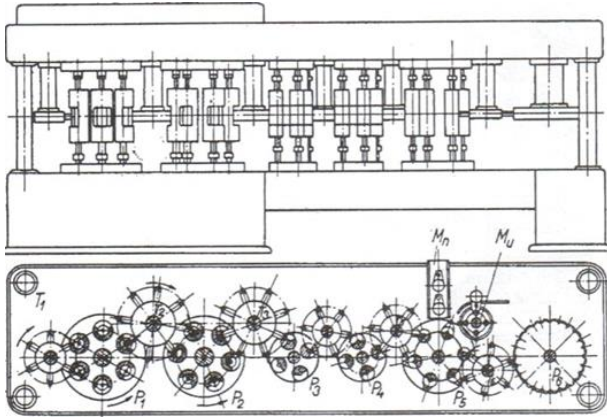
1-Wege-Transporteinheit für MPAX 10, 2-Steuergerät, 3-Technology-Geräte, 4 Steuergeräte, 5-Tanks



Kontinuierliche Maschinen

- Montageausrüstung für die Endmontage von Fahrzeugen
- Rotormontagemaschinen

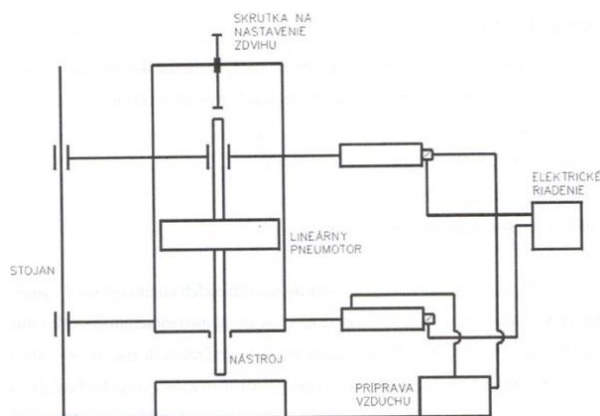
Grundeinheit der Rotormaschine mit arbeitenden P- und Förderer-D-Rotoren



7.4. Kupplungsvorrichtung

Montagepressen - wir verwenden sie für die Herstellung von Form- und Pressverbindungen sowie für das allgemeine Formen und Formen. Die häufigsten Mechanismen, die bei der Montage von Pressen verwendet werden, sind hydraulisch, pneumatisch, pneumatisch-hydraulisch, pneumatisch-mechanisch und mechanisch mit Walzwerkzeugen.

Pneumatisches Montageblech

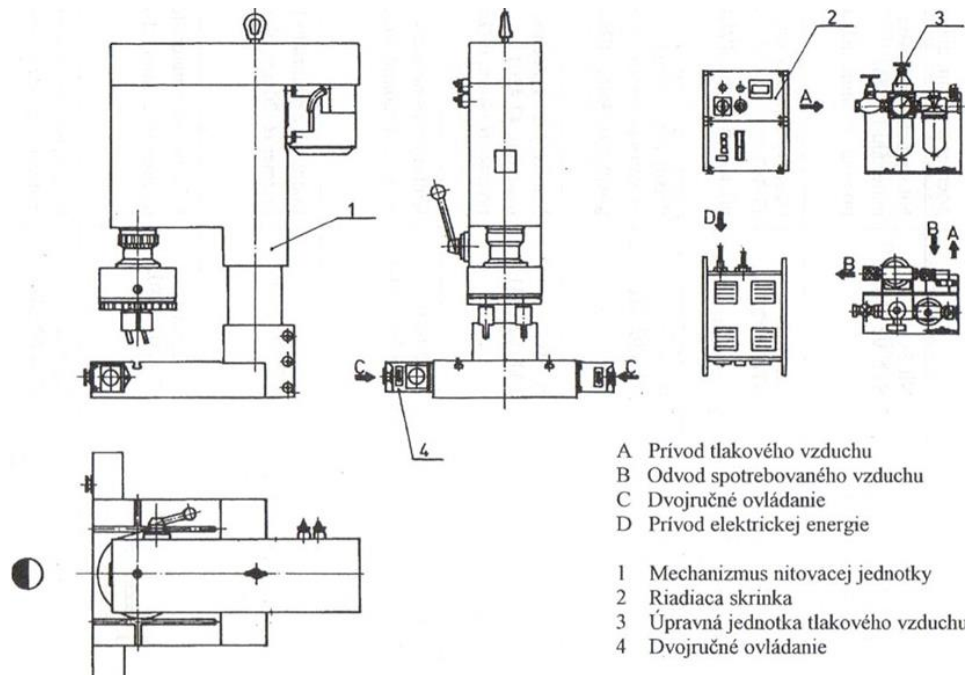


N Nietvorrichtung - Wird zur Herstellung einer nicht lösbaren Nietverbindung verwenden

det. Wir können Nieten teilen:

- Gemäß der gegenseitigen Position auf einer und auf zwei Seiten
- Abhängig von der Art des Hohlwellenniets, der Vollwelle und der speziellen

Je nach Ausführung direkt und indirekt

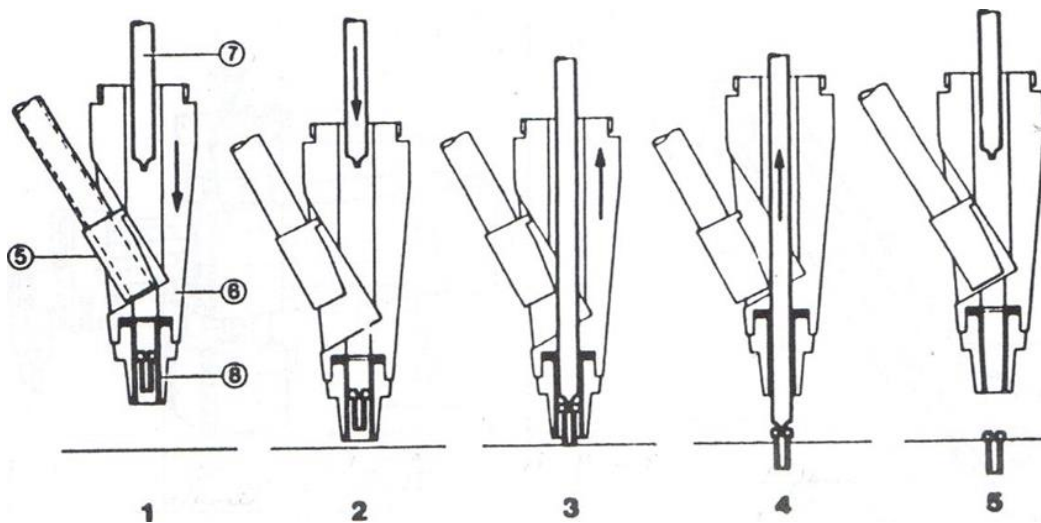


Schraubgeräte - Schraubverbindungen sind lösbare Montageverbindungen. Die Basis ist eine Schraube und auch eine Matrix von Unterlegscheiben verschiedener Art.

Schrauben und Muttern werden in spezielle Befestigungen, Kupplungen, Antriebe, Bewegungen und Schrauben (Einstellung, Abstand, etc.) eingeteilt. Die Gewinde sind rechts und links. Die gebräuchlichsten sind True Threads.

Bei der Montage werden Schraubvorrichtungen verwendet, zu denen wir technische Werkzeuge für das manuelle Schrauben, Schraubendreher, Drehmomentschrauber, Montageschlüssel, Drehmomentschlüssel und motorisierte Handräder gehören.

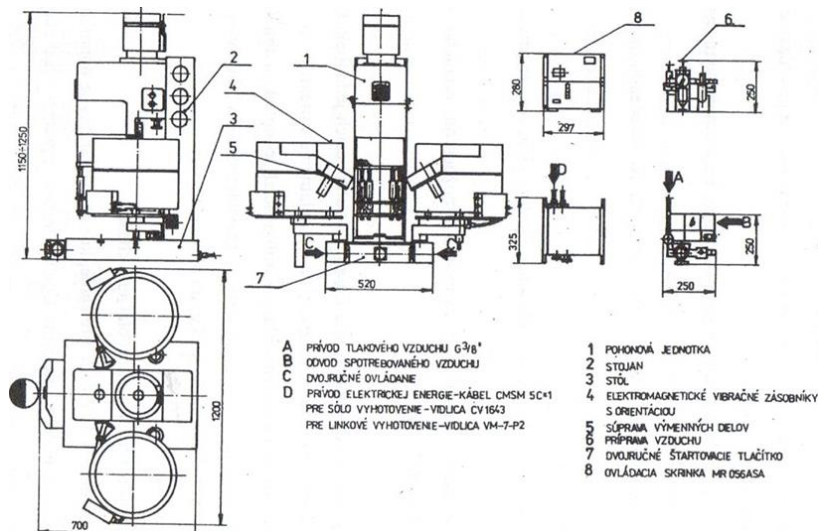
Verschrauben von kleinen Schrauben - Rohrsystem - WEBER



Die folgende Vorgehensweise wird beim Verschrauben beibehalten:

- 1 - Produktkopf - Schraubenkopf
- 2 - Produktwerkzeug
- 3 - Schraubendreher
- 4 - Kopf hoch - Schraube nicht aus dem Kopf geschraubt
- 5 - Aufwärts-Werkzeug

Spindelantriebseinheit



7.5. Reparaturen von Geräten, Maschinen und Anlagen

Aktuelle Qualität Neue Technologien, Maschinen und Anlagen ermöglichen es uns, ein

Problem schnell und sicher mit Hilfe von Diagnosewerkzeugen zu diagnostizieren. Der Fehler kann behoben werden, indem bestehende Komponenten repariert, diese Komponenten ausgetauscht oder ganze Gruppen oder Untergruppen ersetzt werden, die eine Fehlfunktion aufweisen.

Die Ursachen der Störungen lassen sich in interne und externe Ursachen unterteilen.

Interne Fehlerursachen werden durch ungeeignete Formen, Eigenschaften und Belastbarkeit von Material, Technologie, Maschinen und Anlagen verursacht.

Interne Fehlfunktionen:

- Baumaterial (Zusammensetzung, Eigenschaften), Betriebsart (Kühlung, Schmierung), Oberflächenschutz, Kontrollpunkte (Diagnose)
- Alterung
- technologisch - Materialveränderung, Materialqualität (Mängel), unbeaufsichtigte Technologie, unbeaufsichtigte Betriebsart

Externe Fehler, die auftreten

- Verschleiß - Abrieb, Klebstoff, Erosion, Kavitation, Ermüdung, Vibration, Verbrennung, etc.
- übermäßige Beanspruchung - Unkenntnis der technischen Bedingungen, Nachlässigkeit bei der Erfüllung der technischen Bedingungen des Herstellers
- mechanische Beschädigungen - Stöße, Stürze, Unfälle, Nichtbeachtung der Installations-, Wartungs- und Reparaturbedingungen
- elektrischer Schlag - elektrischer Schlag, Blitzschlag, unsachgemäße Handhabung
- Brände - die Folge einiger Fehler (übermäßiges Bremsen, Stöße, Unfälle, Verkehrsunfälle)
- Korrosion - atmosphärisch, biologisch, chemisch, elektrochemisch, elektrochemisch

MASCHINENBAU 1

1. Technologische Verfahren

Die Komplettierung von Teilen und deren Zusammenbau zu Einheiten erfolgt durch bestimmte Tätigkeiten. Wir nennen diese Aktivitäten einen Produktionsprozess. Der Produktionsprozess muss organisiert, geplant, gesteuert, umgesetzt und kontrolliert werden. Der Produktionsprozess besteht aus drei Phasen: Vorbereitung, Durchführung und Kontrolle. Im Produktionsprozess ist es notwendig, die Reihenfolge der einzelnen Aktivitäten vorzugeben.

Als Fertigungsverfahren bezeichnen wir individuelle Fertigungs- und Montagetätigkeiten. Wenn der Arbeitsprozess während des Produktionsprozesses in den Produktionsprozess einbezogen wird, nennen wir es einen Arbeitsvorgang.

Für die Entwicklung von Technologie- und Arbeitsverfahren muss der Technologen über folgende Dokumente verfügen (Janáč, A. et al., 1994):

- Fertigungszeichnungen von Komponenten, Zeichnungen von Baugruppen, Unterbaugruppen und ganzen Maschinen,
- Daten über die Anzahl der bearbeiteten Teile von Produkten, einschließlich der Ersatzteile,
- Daten über die Basisfonds des Workshops,
- Daten über die Werkstattausrüstung,
- Daten über die Gesamtorganisation von Werkstatt, Betrieb, Unternehmen,
- Daten über die Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit anderen Werkstätten, Fabriken und Unternehmen,
- Standards und Normen (ISO, STN, CSN, EN, Industrie, Unternehmen) und die technischen Bedingungen des Produkts,
- Spezifische Anforderungen des Auftraggebers.

Der Produktionsprozess muss als Grundregel für den Produktionsprozess diese Anforderungen erfüllen (Janáč, A. a kol., 1994):

- Bestimmen Sie das Ausgangsmaterial oder Halbfabrikat in Bezug auf seine Abmessungen und Eigenschaften unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten.
- Identifizieren Sie die einzelnen Vorgänge und deren richtige Reihenfolge.
- Bestimmen Sie die Kerntechnologie des Produkts.
- Identifizierung und Festlegung von technischen Kontrollvorgängen vor wichtigen technologischen Vorgängen und Endoperationen.
- Identifizieren Sie Universal-, Spezial- und Einzweckmaschinen. Einzweckmaschinen müssen im Voraus konstruiert und hergestellt werden.

- Identifizieren Sie spezielle und gemeinsame Werkzeuge und Messgeräte.
- Identifizieren Sie spezielle und spezielle Produkte. Spezielle Präparate müssen im Voraus beschafft, spezielle Präparate müssen im Voraus konstruiert und hergestellt werden.
- Ermittlung optimaler technologischer Bedingungen, Wärmebehandlungsdaten, Oberflächenbehandlungen.
- Identifizierung und Festlegung von Nebentätigkeiten.
- Brechen Sie nicht den technologischen und arbeitstechnischen Prozess der Sicherheit und des Arbeitsschutzes.
- Stellen Sie sicher, dass der Produktionsprozess nicht mit dem Umweltaspekt unvereinbar ist.
- Hintergrund für technische und wirtschaftliche Indikatoren liefern.

1.1. Anforderungen an den technologischen Prozess

- Erfüllung der funktionalen Anforderungen aus Spezifikation, technischer Zeichnung und Normen
- Herstellung von Teilen mit minimalem Aufwand und minimalen Produktionskosten
- Maximierung der Auslastung der geplanten Produktionsstätte
- Gewährleistung der Arbeitssicherheit durch den Technologie- und Arbeitsprozess
- Respekt vor ökologischen Aspekten

TD Designansätze

- Erstellung der technologischen Dokumentation:
 - Mensch - Technologie ohne den Einsatz von PC-Technologie
 - Computerunterstützung
 - PC-Unterstützung TD-Design:
 - Konzern-Technologieprinzip (Variant Approach)
 - Bearbeitung eines bereits bestehenden technologischen Prozesses für ein Bauteil mit ähnlichen Eigenschaften
- Genaues Prinzip (generativer Ansatz)
 - mathematische Modellierung und Generierung neuer Techniken. Unabhängig von der Ähnlichkeit

Je nach Art der Produktion unterteilen wir die technologischen Prozesse in:

- Rahmen- (und Arbeits-) technologischer Prozess (Kleinserien- und Einzelfertigung) - enthält nur eine Liste von Arbeitsgängen ohne weitere Unterteilung.

- Detaillierter (und funktionsfähiger) technologischer Fortschritt (Serien- und Massenproduktion) - enthält alle 12 der oben genannten Punkte. Das Verfahren muss detailliert sein, da es von Arbeitnehmern mit den niedrigsten Gehaltsstufen erstellt wird.

Manueller Ansatz für das TD-Design

Verwenden Sie Kataloge von Werkzeugen, Vorbereitungen, Lehren, verschiedene Tabellen, Diagramme, Nomogramme, um die Schnittbedingungen zu bestimmen.

Technologische Prozesse:

- Komponenteninformationen
- Informationen über Maschinen und Hilfseinrichtungen
- Informationen über die Produktionsmöglichkeiten (technologische Verfahren, Wärmebehandlung, Spannung)
- Basierend auf dem Wissen, dem Wissen und der Erfahrung der Technologie.
- Techn. Die Verfahren für ein ähnliches Bauteil unterscheiden sich in der Betriebsreihenfolge der Produktionsanlagen sowie in den Schnittparametern.
- Kleine Unternehmen mit einem kleinen Sortiment an hergestellten Komponenten.

PC-Unterstützung TD-Design

- Optimierung der Aktivitäten
- Beschleunigen Sie den Designprozess
- Objektive und flexible Möglichkeiten, auf sich ändernde Kundenanforderungen und Produktionsbedingungen zu reagieren.
- CAPP (Computer Aided Process Planning)
- PC-Unterstützung für die folgenden Bereiche:
- Komponentenanalyse - Analyse des Produktionsprofils
- Technische Vorbereitung der Produktion von Produktionshilfsmitteln
- Datenbankverarbeitung in der Vorproduktion
- Archivierung digitalisierter Technologien. Dokumentation
- Stoppen, Bearbeiten und Ändern von Texten in der Technik
- Berechnung der Schnittparameter

Vorteile:

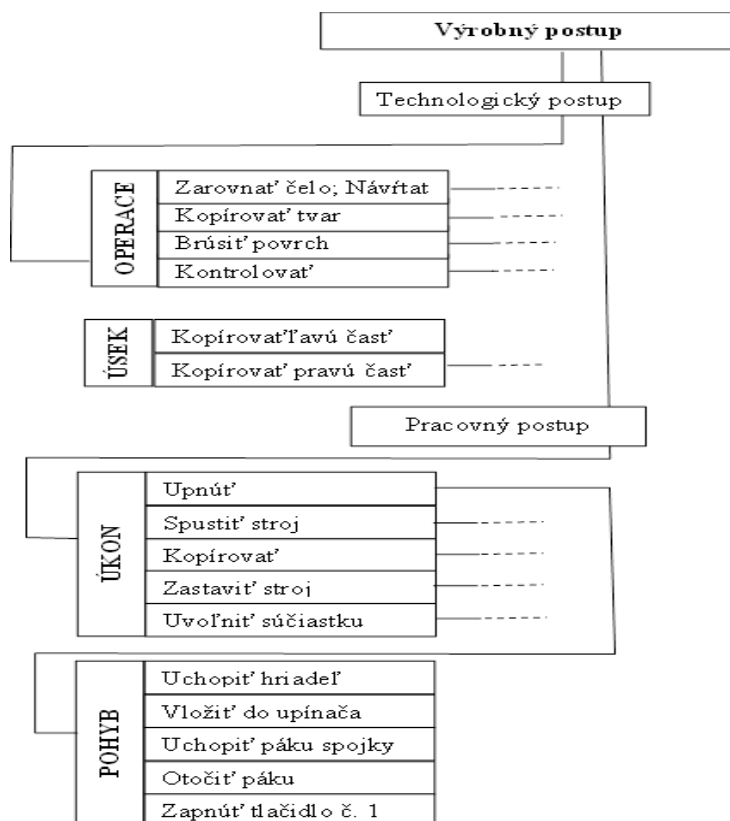
- Höhere Produktivität der Technologen
- Rationalisierung des TD-Designs
- Größere Klarheit des TD
- Standardisierung von TD

- Objektivierung des technologischen Prozesses
- Optimierung von TD
- Verkürzung der Laufzeiten für das TD-Design
- Reduzierung der Bootzeit
- Integration mit Anwendungsprogrammen und -systemen
- Größere Flexibilität bei der Änderung des Sortiments
- Größere Flexibilität bei der Änderung von Kundenanforderungen

Wirtschaftlicher Nutzen:

- Erhöhte Auslastung der bestehenden Maschinen,
- Reduzierung von Werkzeugen, Vorbereitungen und Hilfsmitteln
- Reduzierung schlechter Produkte
- Reduzierung der Werkstattkosten
- Reduzierung des Arbeitsaufwands
- Besserer Materialeinsatz

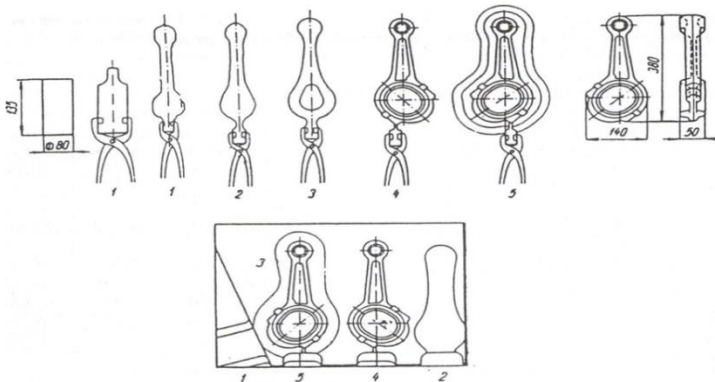
1.2. Aufschlüsselung des technologischen Prozesses



Technologische Prozesse für das Gesenkschmieden

Für den Schmiedeprozess berücksichtigt das Verfahren den wirtschaftlich und technisch besten Fertigungsprozess. Dieses Verfahren berücksichtigt die Reihenfolge der grundlegenden Arbeiten, Operationen, Abschnitte, Operationen und Bewegungen, die zur Herstellung von Schmiedeteilen erforderlich sind. Darüber hinaus müssen wir weitere Standardisierungs- und Produktionsdaten berücksichtigen. Dies sind Daten über Material, Halbfabrikate, Maschinen, Werkzeuge, Werkzeuge, Werkzeuge, Werkzeuge usw.

Bildtechnisches Verfahren zum Schmieden von Eimern

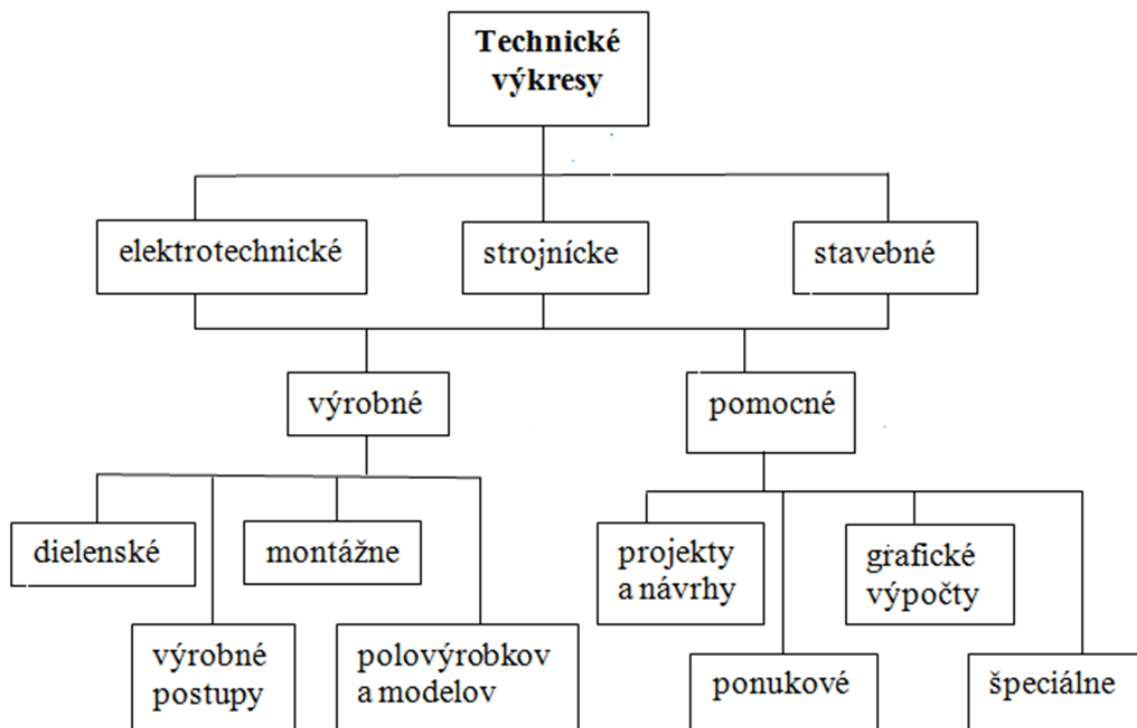


1.3. Technologische Dokumentation

Technische Zeichnung:

- Nasenkomponente der grafischen Dokumentation
- Ausführung nach gültiger Technik. Normen
- Anwendungen in der Elektrotechnik, im Maschinenbau, im Bauwesen

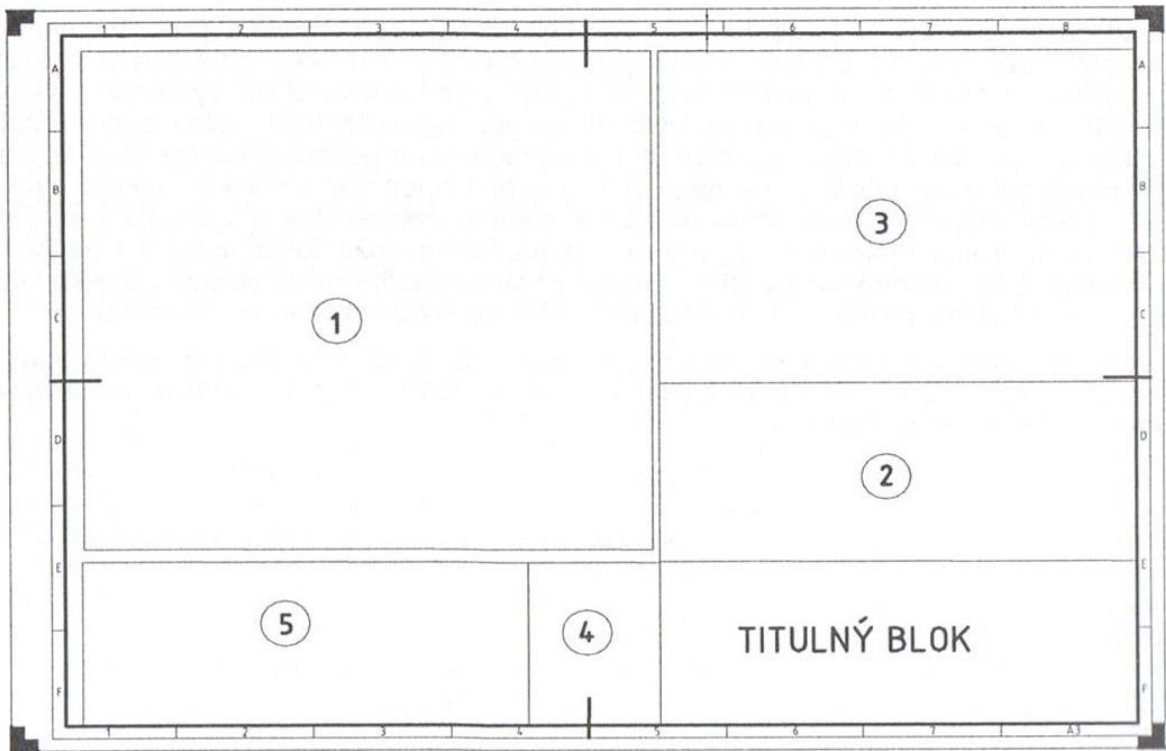
Geteilte technische Zeichnungen



Zeichenformate:

Označenie formátu	Formát výkresu (orezaná kópia)	Orezaný originál (matrica, rematrica)	Výkresový list (najmenší dovolený rozmer)
hlavné			
A0	841 x 1189	851 x 1199	857 x 1205
A1	594 x 841	604 x 851	610 x 857
A2	420 x 594	430 x 604	436 x 610
A3	297 x 420	307 x 430	313 x 436
A4	210 x 297	220 x 307	226 x 313

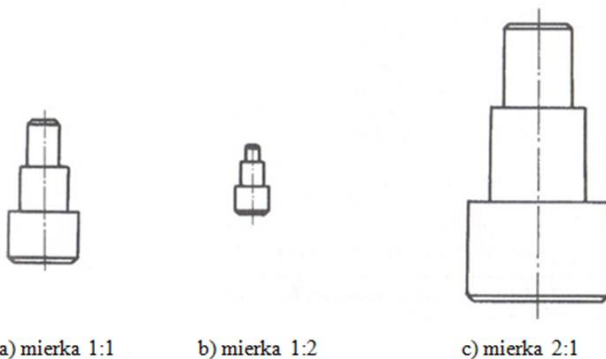
Layout des Zeichenblattes:



Skala:










Bestimmt durch das Verhältnis des Längenelements des in der Zeichnung gezeigten Objekts zur tatsächlichen Längenabmessung des gleichen Elements des Objekts.

1. Maß für die wahre Größe - 1: 1: 1
2. Vergrößerung für 2: 1: 1
3. Reduktionsskala - 1: 2

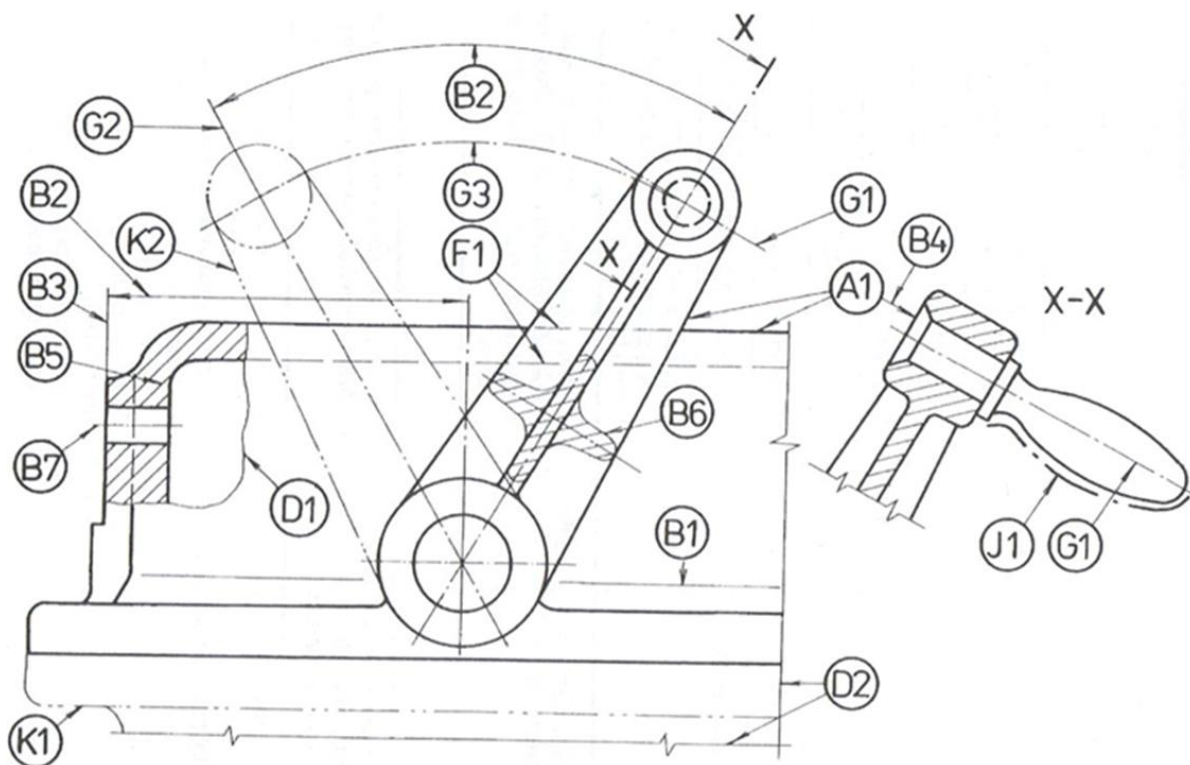


Mierka strojných výkresov			
Skutočná veľkosť	Mierka zväčšenia	Mierka zmenšenia	
1 : 1	2 : 1	1 : 2	1 : 200
	5 : 1	1 : 5	1 : 500
	10 : 1	1 : 10	1 : 1000
	20 : 1	1 : 50	1 : 5000
	50 : 1	1 : 100	1 : 10000

Arten von Zeichnungen auf technischen Zeichnungen:

číslo	zobrazenie	popis
01.1	Súvislá tenká čiara 	Používa sa na kreslenie: -pomocných kótovacích čiar, kótovacích čiar -odkazových čiar, šrafovaní -ohraničenia podrobností -čiar sietí
	Súvislá tenká čiara kreslená od ruky 	Používa sa na: -prednostne na ručné zobrazenie ohraničenia prerušovaných alebo čiastočných pohľadov -na zobrazenie rezov a prierezov, ak to nie je os súmernosti
	Súvislá tenká čiara so zalomením 	Používa sa na: -zobrazenie ohraničenia čiastočných alebo prerušovaných pohľadov -zobrazenie rezov a prierezov, ak ohraničením nie je os súmernosti
01.2	Súvislá hrubá čiara 	Používa sa na kreslenie: -viditeľné obrysy a hrany, -čiar chrbtov závitov s plnou hrúbkou profilu -zobrazenie grafov, diagramov -zobrazenia osových dĺžok priečkovej konštrukcie
02.1	Čiarkovaná tenká čiara 	Používa sa na: -zakrytie hrán a obrysov
02.2	Čiarkovaná hrubá čiara 	Používa sa na: -označenie úpravy povrchu
04.1	Čiara tenká s dlhou čiarou a bodkou 	Používa sa na: -osi, čiary na označenie súmernosti -rozstupová čiara ozubení -rozstupová čiara dier
04.2	Čiara hrubá s dlhou čiarou a bodkou 	Používa sa na: -označenie rovín rezu -deliacich rovín v obrazoch rezov
05.1	Tenká čiara s dlhou čiarkou a dvoma bodkami 	Používa sa na kreslenie: -označenie susediacich súčiastok -ťažiskové osi -posunutú tolerančné pole

Praktische Anwendungsbeispiele:



Základné typy čiar	Hrúbka čiar	Používanie a označenie čiar
01 súvislá	hrubá	viditeľné obrysy a hrany A1
	tenká	neurčené hrany B1, pomocné a kótovacie čiar B2 až B4, vyznačenie materiálu súčiastky v reze B5, obrysy vykreslených prierezov B6, krátka os B7
01 súvislá od ruky	tenká	prerušenie obrazu D1
01 súvislá zo zalomením	tenká	prerušenie obrazu D2
02 čiarkovaná	tenká/hrubá	zakryté obrazy a hrany F1
04, 08, 10 čiara s dlhou čiarkou a bodkou	hrubá	vyznačenie vynášaných častí alebo plôch J1
	tenká	os rotácie G1, os súmernosti a stopy rovín súmernosti G2, trajektórie G3 a stopy rovín rezov
05, 09, 12 čiara s dlhou čiarkou a dvoma bodkami	tenká	obrysy susedných predmetov K1, krajné polohy pohyblivých častí K2, ťažnice, východzie alebo konečné obrysy

Anforderungen an die Fertigungszeichnung

- Produktion so klein wie möglich
- Anordnung - Hauptmontage, Baugruppen, Unterbaugruppen, Bauteilzeichnungen
- Titelblock (Beschreibungsfeld)
- Positionsliste (Stückliste)

Titelblock:

POL.	NÁZOV	ČAP	Č.VÝKRESU	Č. NORMY	MATERIÁL	J.	MNOŽ.	HMOTN(kg)
VYPRACOVAL:		PUKANCOVÁ	SYMBOL	ZMENA			DÁTUM	PODPIS
KONTROLOVAL:		BENCZY						
MATERIÁL	DÁTUM VYHOTOVENIA							
11 600		15.3.2010	STREDNÁ ODBORNÁ ŠKOLA AUTOMOBILOVÁ COBURGOVA 7859/39, 917 02 TRNAVA					
ROZMER, POLOTOVAR, NORMA			KR 55x70					
HODNOTENIE STAVU POVRCHU		VŠEOB.TOLERANCIE	NÁZOV ČAP					
METÓDA ZOBRAZOVANIA		MIERKA	ČÍSLO VÝKRESU					LIST CISLO:
		1:1	10-01					1

Objektliste:

185							8,5
POZ.	NÁZOV - ROZMERY	VÝKRES - NORMA	MATER.	J.	MN.	kg	

Bauteilzeichnungen:

- Eine separate Zeichnung für jede Komponente
- Angemessene Darstellung und Form des Bauteils
- Kopieren von Teilen
- Rauheit und Oberflächenbehandlung
- Wärmebehandlung
- Toleranz von Abmessungen und geometrischen Formen
- Technische Anforderungen im Beschreibungsfeld
- Tabelle der Daten für Zahnräder
- Beschreibungsfeld mit den Abmessungen des Rohlings, der Materialart, den Daten für die Prüfung, die Produktion und die Materialprüfung.

Zeichnungen von Halbfabrikaten:

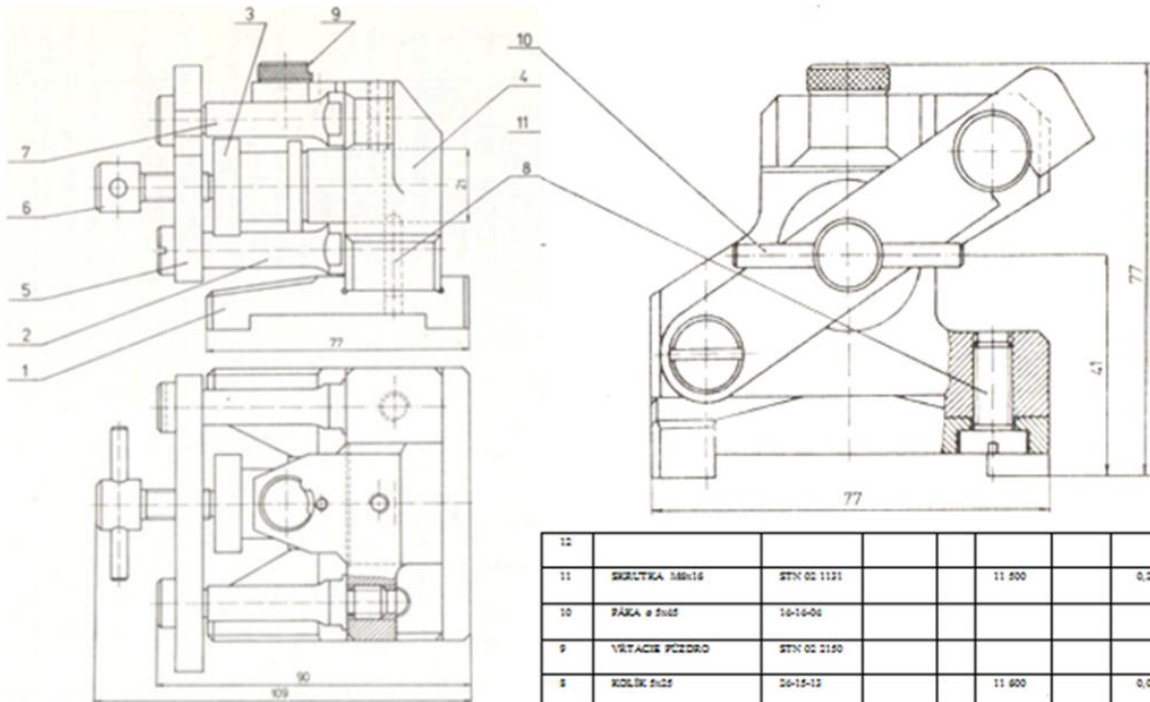
- Art des Materials
- Eigenschaften und Qualität des Materials
- Der Ausgangszustand des Materials - in Form eines Halbfabrikats.
- Die Nummer der jeweiligen Norm

Gusszeichnungen:

- Daten zum Zeichnen einer Modellzeichnung und zum Arbeiten in einem Modellraum und einer Toilette
- Technologische Genauigkeit beim Gießen
- Richtig gestaltetes Material
- Einfache Maßkontrolle und einfache Bearbeitbarkeit
- Erforderlicher Genauigkeitsgrad (oberhalb des Beschreibungsfeldes)
- Design- und Technologierundung
- Verbindungswände, Löcher in Gussteilen

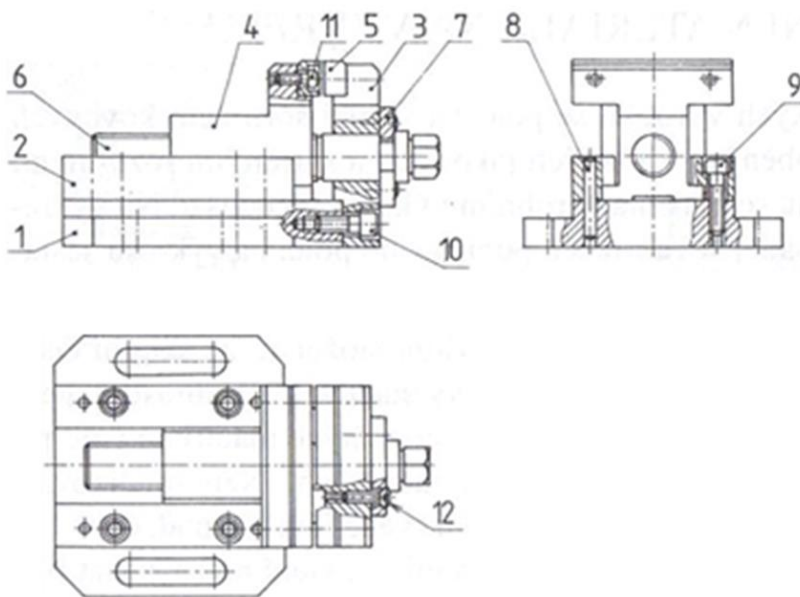
Zeichnungserstellung:

- Ansicht der Baugruppe im montierten Zustand
- Dimensionierung der Hauptabmessungen
- Position der Komponenten der Montageeinheit
- Daten über geklebte, gelötete und andere Verbindungen



12							
11	SKRUTKA M8x16	STN 02 1121			11 600		0,28
10	PÁKA s šúš	16-16-06					
9	VŤAČIE PŮZRO	STN 02 2150					
8	KOLÍK s úš	20-15-13			11 600		0,09
7	SKRUTKA M10x8	28-22-16					
6	POHYBOVÁ SKRUTKA	12-08-08					
5	DOŠKA s úš	16-05-26					
4	TRIEŠO	11-22-47					
3	VŤAČENO	17-20-60					
2	SKRUTKA M10x8	12-12-15					
1	ZÁKL. PLOŠTIAČKOV	11-17-06				1	
Pos	NAZOV-ROZMER	C. VÝK- Č. NDR	MATER	Z	MATER	SKT	ROZD

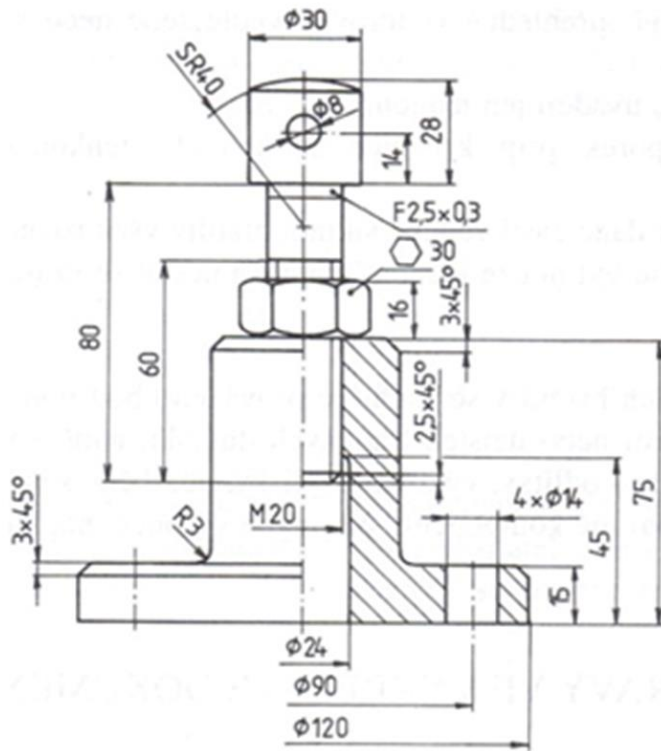
Popisové pole



Poz	NAZOV-ROZMER	POLOTOVAR	POZNAMKA	MNOŽ
	Č.VYK-Č.NORMY	MATER		JEDN
1	ZAKLADNÁ DOSKA	STN 45 6522		
	A4-TK-09.02-01-1.C	13 373.0		
2	VODIACA LIŠTA	STN 45 5520		
	A4-TK-09.02-02-1.C	11 500.0		
3	PRITLAČNÁ DOSKA	STN 42 5520		
	A4-TK-09.02-03-1.C	11 343.0		
4	POSUNOVAC	STN 42 5522		
	A4-TK-09.02-04-1.C	11 343.0		
5	UPÍNACIA ČELUSŤ	STN 42 5510		
	A4-TK-09.02-05-1.C	11 500.0		
6	VRETENO	STN 42 5522		
	A4-TK-09.02-06-1.C	11 343.0		
7	ZAMOK VRETENA	STN 42 5520		
	A4-TK-09.02-07-1.C	11 343.0		
8	VALCOVÝ KOLIK ISO 2338- A4-m6x28	STN EN 22 338		
	A4-TK-09.02-08-1.C			
9	SKRUTKA A M5x20	STN 11 043		
	A4-TK-09.02-09-1.C			
10	SKRUTKA A M6x20	STN 11 043		
	A4-TK-09.02-10-1.C			
11	SKRUTKA A M6x10	STN 11 043		
	A4-TK-09.02-11-1.C			
12	SKRUTKA M4x12	STN EN ISO 2010		
	A4-TK-09.02-12-1.C			

Popisové pole

Zverák (súpis položiek)



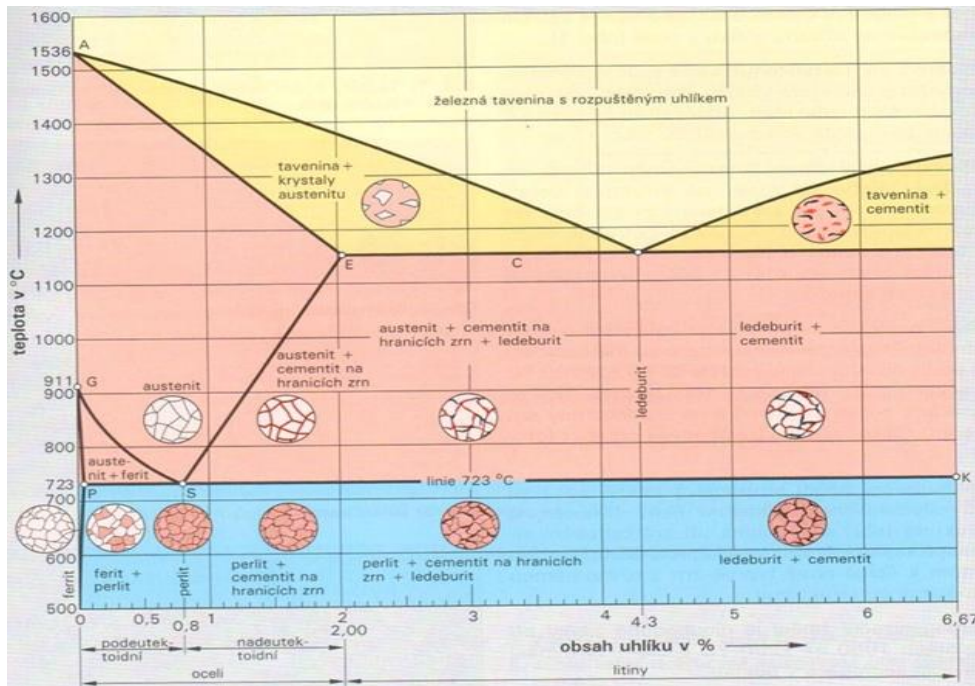
2. Wärmebehandlung

Die technologischen Prozesse der Wärmebehandlung von Metallen, die in der technischen Praxis verwendet werden, lassen sich in vier grundlegende Gruppen unterteilen

- Verfahren, bei denen wir eine ausgewogenere Struktur als bei der Basislinie erhalten. Sie werden mit unterschiedlichen konkreten Zielen für alle metallischen Werkstoffe eingesetzt. Diese Verfahren werden unter der allgemeinen Bezeichnung Glühen bezeichnet.
- Die Prozesse, in denen wir Strukturen mit einem gewissen Ungleichgewicht schaffen. Für Stahl sind solche Prozesse das Härten und Anlassen. Bei Aluminiumgussteilen (oder anderen Nichteisenlegierungen) wird ein Verfahren eingesetzt, das als Härtung bezeichnet wird.
- Verfahren, bei dem sich neben strukturellen Veränderungen auch die chemische Zusammensetzung der Oberflächenschichten des Materials, d.h. die chemische Wärmebehandlung, ändert.
- Verfahren, bei dem die gewünschte Eigenschaftsänderung durch eine Kombination aus Intensivformen und Wärmebehandlung, d.h. thermomechanische Verarbeitung, erreicht wird.

(Skočovský, P. a kol., 2006)

Diagramm der Eisenlegierungen mit Kohlenstoff und Strukturbereiche von Materialien mit unterschiedlichem C-Gehalt



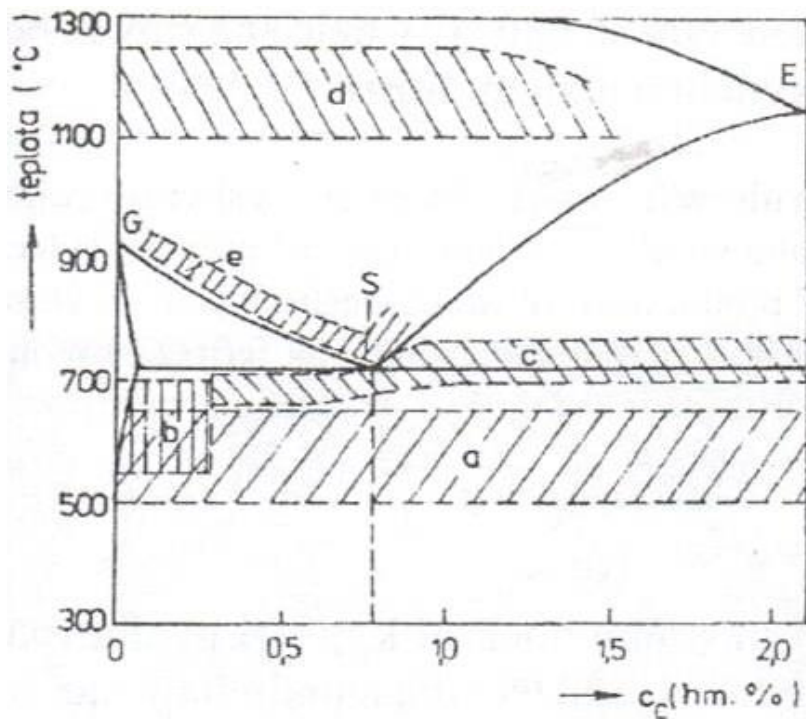
2.1. Glühen

Das Glühen ist eine Methode der Wärmebehandlung. Auf diese Weise wollen wir, dass das Bauteil einen stabilen Zustand erreicht. Das Prinzip des Glühens ist die gleichmäßige Erwärmung des Bauteils auf die Glühtemperatur, die Ausdauer bei dieser Temperatur für einen bestimmten Zeitraum und damit die langsame Abkühlung.

Übersicht über die Stahlgühprozesse

	Weg Glühen	Glühtemperatur[°C]	Markieren Sie die erste zusätzliche Ziffer nach der Stahlmarke.
Ohne Rekristallisation	-Rekristallisation	680 – 720°C	1X XXX.3
	-Schutzflocke	550 - 700°C	-
	- Zur Entfernung Zerbrechlichkeit	650 – 700°C	-
	- Zur Entfernung Eigenspannungen	200 – 300°C	-
Mit Rekristallisation	-Normierung	500 – 650°C	-
	-	750 – 900°C	1X XXX.1
	-Homogenisierung -isothermisch	1000 – 1200°C 600 – 750°C	- -

Bereiche der Glühtemperaturen im Gleichgewichtsdiagramm

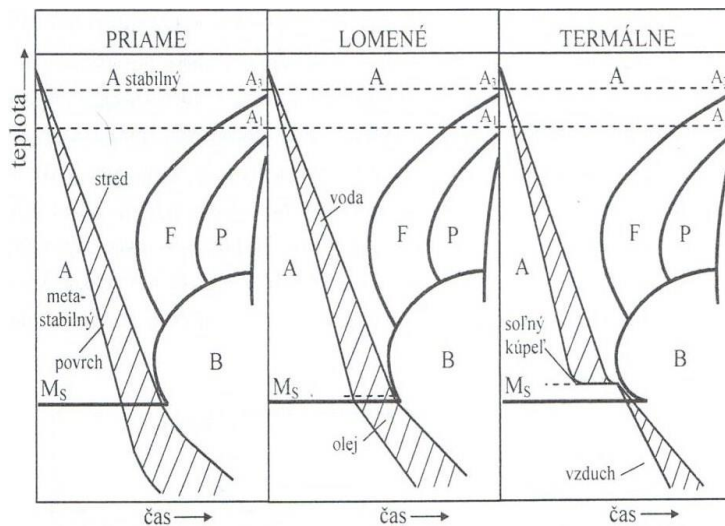


2.2. Härten und Anlassen

Fruchtbarkeit ist die Fähigkeit von Stahl, eine höhere Härte zu erreichen. Das Anlassen ist das Erwärmen des Stahls auf die Rekristallisationstemperatur, die Ausdauer bei dieser Temperatur und das anschließende Abkühlen mit einer höheren Geschwindigkeit, wie beispielsweise der niedrigeren kritischen Abkühlrate. Das gemäßigtste und wirtschaftlich günstigste Umfeld ist die Luft.

Das Ziel des Abschreckens ist es, einen anderen Zustand wie den Gleichgewichtszustand zu erreichen.

Arten der Verfestigung



- Direktes Abschrecken - wir kühlen die Temperatur der Austenitisation ab. Bei Kohlenstoffstahl ist es in der Regel Wasser, bei Kleinteilen aus Stahl.
- Winkelhärten - Austenitische Komponenten, die normalerweise mit Wasser getränkt sind, werden in zwei Umgebungen gekühlt.
- Thermisches Abschrecken - das Bauteil wird in einer Umgebung mit einer Temperatur oberhalb des M_s des jeweiligen Stahls mit einer höheren Geschwindigkeit als kritisch abgekühlt, wo es für die Zeit bleibt, die zum Ausgleich der Temperaturen über den gesamten Querschnitt benötigt wird.
- Das Anlassen ist das Erwärmen von trübem Stahl mit martensitischem Gefüge bei Temperaturen A_1 , um Strukturen zu schaffen, die dem Gleichgewicht näher kommen. Aus technologischer Sicht vertreiben wir das Anlassen bei niedrigen Temperaturen (bis 300°C) und bei hohen Temperaturen (über 400°C).

2.3. Chemische Wärmebehandlung

Die Techniken der Diffusionssättigung der Oberfläche der Komponenten durch einige Elemente beinhalten die chemische Wärmebehandlung. Ziel der chemischen Wärmebehandlung ist es, Veränderungen der mechanischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften der Elemente herbeizuführen. Wir verstehen diese Prozesse durch Diffusionssättigung der Stahloberfläche durch verschiedene Elemente wie Al, B, C, N, C + N, Si und andere. Sie sind sowohl Metalle als auch Nichtmetalle.

Je nachdem, wann wir die gewünschten Eigenschaften aufrufen, unterteilen wir die Ver-

arbeitsmethoden in:

- **Nitrieren** (bei der Bildung von Diffusionsschichten),
- **Zementieren, Nitrozementieren** (nach Wärmebehandlung der gesättigten Oberfläche).

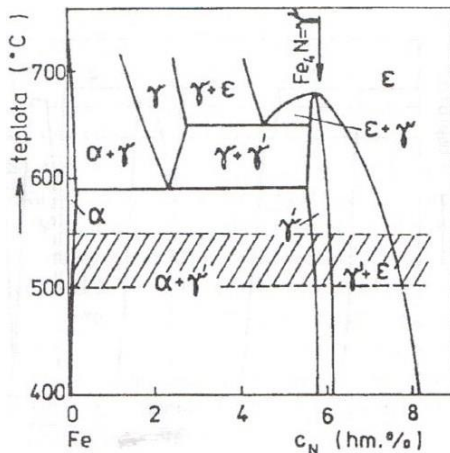
2.4. Verkleben

Oberfläche von Kohlenstoff-, niedriglegierten und legierten Stählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt (bis zu 0,25% C) mit einem Kohlenstoffnetzwerk für die eutektische bzw. Nadeutectoidkonzentration 0,8-1 Gew.-% Kohlenstoff).

Nach der Zementierung müssen die Teile entstaubt werden. Wir verwenden mehrere Arten des Abschreckens:

- Direkte Aushärtung der Aushärtetemperatur,
- Direktes Abschrecken mit Unterkühlung - nach dem Zementieren wird die Charge im Ofen auf 840-850 ° C abgekühlt und wird von dieser Temperatur trüb,
- Einfaches Anlassen nach dem Erwärmen - die Kühlung des Bauteils erfolgt auf Raumtemperatur, dann die neue Erwärmung auf die Temperatur zwischen AC1 und AC3 (840 - 850 ° C), der Kern des Bauteils schmilzt und das Gefüge bildet Ferrit und Martensit,
- Doppelte Abschreckung nach dem Erwärmen - das erste Härten der Austenitierungskerntemperatur (über AC3 - 880 - 900 ° C) und das zweite Abschrecken aus der Härtetemperatur der Schicht (über AC1 - 780 - 820 ° C).

2.5. Nitrieren

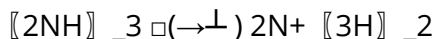


Grundidee der Struktur des Nitrierens

Kann aus dem Gleichgewichts-Fe-N-Diagramm entnommen werden.

Nitrit in einer gasförmigen oder flüssigen Umgebung.

In der gasförmigen Umgebung ist Ammoniak die Quelle für Stickstoff. Diese zersetzt sich beim Kontakt mit der Oberfläche des Bauteils. Wir können die Gleichung formulieren:



Das Nitrieren dauert in der Regel 12 bis 60 Stunden. Die Nitrierrate steigt mit steigender Temperatur.

Eine flüssige Umgebung wird durch ein nitriertes Salzbad geschaffen. Dieses Bad besteht aus einer Mischung aus Natriumcyanid (NaCN) und Kaliumcyanat (KCNO). Im Salzbad ist die Nitrierzeit kürzer als im Gas (0,5-4).

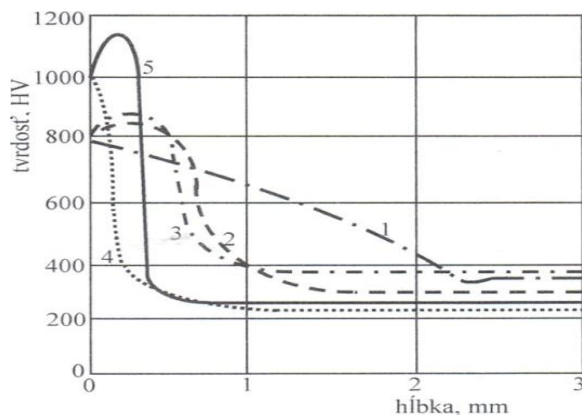
Andere Methoden der chemisch-thermischen Verarbeitung

- Nitrozementation - Oberflächensättigung mit Kohlenstoff und Stickstoff bei Temperaturen um AC3,
- Carbonitrieren - Oberflächensättigung mit Kohlenstoff und Stickstoff bei Temperaturen um 650-750 ° C,
- Sulfonitrieren - Oberflächensättigung mit Schwefel und Stickstoff in einem gasförmigen oder flüssigen Medium (Elefantenbad - 95% Natriumcyanid und 5% Natriumsulfid)

- Sulfonierung - Sättigung der Oberfläche der Komponenten durch Schwefel. Es handelt sich um einen Prozess ähnlich dem Sulfonitrieren,
- Diffusionsbeschichtung - Chrom (Diffusionschrom), Silizium, Aluminium (Legierung, Aluminat) - Korrosionsbeständigkeit und Korrosion, Bor erhöht die Härte der Oberflächenschicht und die Verschleißfestigkeit.

Der Härteverlauf in verschiedenen Schichten

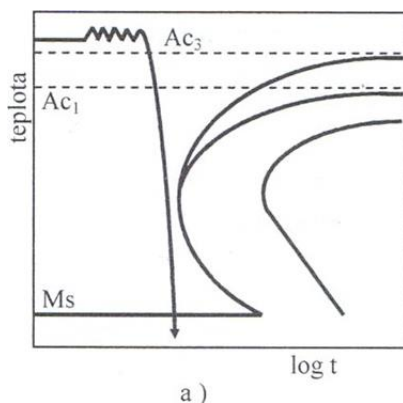
1-Oberflächenhärtung, 2-Zementierung, 3-Nitro-Zementierung, 4-Carbon-Nitrierung, 5-Nitrierung



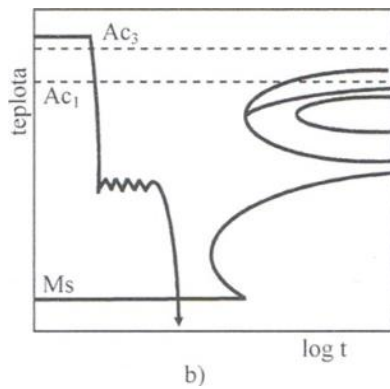
2.6. Thermisch-mechanisches Management

Die Methoden der thermomechanischen Behandlung werden am häufigsten nach der Formgebungstemperatur unterteilt:

Thermomechanische Verarbeitung bei niedrigen Temperaturen



Thermomechanische Hochtemperaturverarbeitung



Andere Verfahren der thermo-mechanischen Verarbeitung

- **Isoformen** - schnelles Abkühlen von der austenitischen Temperatur auf den Perlitbereich,
- **Dynamische Verformungsalterung des Martensits** - Verformung nach dem Härten, angewendet bei Temperatur (150-200 ° C).

3. Technologische Verfahren mit Computerunterstützung

Der ständige Wettbewerbsdruck zwingt Designer und Technologie, an neuen Lösungen zu arbeiten und sich neuen Herausforderungen zu stellen. Die Verkürzung der Produktionszeiten, die Verbesserung der Qualität, die schnelle Änderung des Produktionsprogramms und andere notwendige Änderungen sind nur einige der Themen, die angegangen werden müssen. Ausgangspunkt für den Umgang mit komplexen, in der Praxis weit verbreiteten Situationen ist der Einsatz der integrierten Computerproduktion.

CAD-Systeme (Computer Aided Design) sind Programmwerkzeuge, die in der Anfangsphase des Herstellungsprozesses, in der Entwicklung, Konstruktion und technologischen Vorbereitung der Produktion eingesetzt werden sollen. Der CAD-Bereich ist nur ein Teil des Einsatzes von Computertechnologie in der Industrie. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dieser Einsatz mit der CA-Technologie gekennzeichnet ist.

CAX steht für Computer Aided. CAX-Technologie bedeutet den Einsatz von Computertechnologie (Technik und Software) zur Förderung des kreativen Ansatzes.

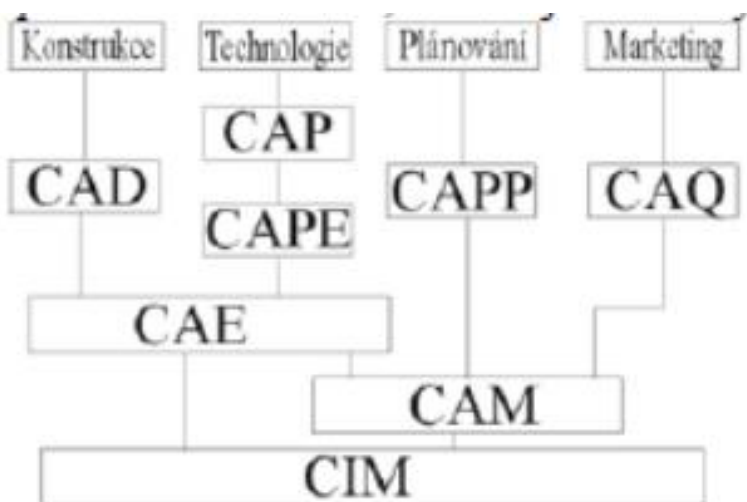
Benutzer (Designer, Technologen, Taschenrechner und andere Berufe) zur Lösung von Aufgaben im Zusammenhang mit dem Produktionsprozess.

CAX-Technologien lassen sich in die folgenden Bereiche unterteilen:

- CIM - Computer Integrated Manufacturing (computerunterstützte Fertigung)
- CAM - Computergestützte Fertigung
- CAE - Computer Aided Engineering - Computer Aided Engineering
- CAD - Computergestützte Konstruktion
- CAPE - Computer Aided Production Engineering (computergestützte Produktionstechnik)
- CAP - Computergestützte Programmierung
- CAPP - Computergestützte Prozessplanung
- CAQ - Computergestützte Qualität
- CMR - Customer Management Relationship - Customer Relationship Management System - Kundenbeziehungsmanagement-System

- PDM - Produktdatenmanagement - Produktdatenmanagement - Produktdatenmanagement
- PLM - Product Lifecycle Management - Product Lifecycle Management - eine Informationsplattform, die technische, Produkt- und Marketing-Daten zum Produkt enthält. Das produzierende Unternehmen benötigt ein Produktionsmanagementsystem, ein Lieferantenmanagementsystem, ein Customer Relationship Management System, ein Qualitätsmanagementsystem und ein System für Engineering und Innovation. PLM vereinheitlicht diese Systeme und erstellt einen konsolidierten Satz von Produktinformationen.

3.1. Beziehung zwischen verschiedenen Bereichen der CA-Technologien



Obr.1 Zařazení CAD do oblasti CA technologií

Der CAD-Bereich selbst kann weiter unterteilt werden in Bereiche wie:

- CADD - Computergestützte Konstruktion und Zeichnung
- CAPD - Computergestütztes Rohrdesign
- FEM - Finite Elemente Methode (in diesem Fall die Abkürzung CAE - Computer Aided Engineering)
- GIS - Geografisches Informationssystem
- Computergestützte Fertigung

Alle CAD-Systeme sind Werkzeuge. Deshalb müssen sie auch zugänglich sein. Die

Kenntnis eines CAD-Systems garantiert in keiner Weise, dass ein Systemingenieur ein guter Designer ist. Die Implementierung der CAD-Technologie hat zu einem qualitativen Wandel in der Entwurfsmethodik geführt. CAD-Systeme durchlaufen mehrere Entwicklungsstufen

Alle Phasen wurden durch die Entwicklung des Computings bestimmt:

- Großrechner dürfen zweidimensionale Zeichnungsdokumentationen erstellen.
- Workstations konnten dreidimensionale Objekte auf dem Vektorbildschirm zeichnen, deren Formen mit den Koordinaten der Tastatur eingegeben wurden.
- die Möglichkeit der Erstellung von Zeichnungsdokumentationen wurde vom PC aus zugänglich gemacht.
- Die Verbesserung der PC-Leistung wurde durch dreidimensionale Modellierung, Übernahme von Modellen in die Zeichnungsdokumentation ermöglicht.
- Visualisierung und Animation, Internetanschluss

Bei der Prozessgestaltung werden CAD-Systeme voll ausgeschöpft, was die folgenden Vorteile bietet:

- einfache Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten
- einfache Erstellung einer Vielzahl von Varianten und Konstruktionsänderungen
- Einsatz von Optimierungsmethoden
- ein perfektes Informationssystem

Tätigkeiten, die vom Entwurf im Designprozess durchgeführt werden sollen:

- Zuweisung der technischen Aufgabe und Bearbeitung der technischen Bedingungen
- Vorkalkulationen mit dem Entwurf des Projekts
- Normalisierung und technische und wirtschaftliche Bewertung des Vorschlags
- Erstellung von Montage- und Fertigungszeichnungen, Schaltplänen und Schaltplänen
- Erstellung von Rechnungen, Kontrollbaugruppen und Montagezeichnungen
- Beteiligung an der Herstellung des Prototyps oder direkt zu Beginn der Produktion, Reparatur der Zeichnungsdokumentation
- Vorschläge für externe Aufträge, Materialien für Verpackung und Transport des Produkts
- Gebrauchsanweisung und Gebrauch des Produkts, Erstellung von Prospekten

Der Designprozess kann in die folgenden Schritte unterteilt werden:

- Prüfung des Antrags
- Definition des Problems
- Synthese

- Analyse und Optimierung
- Bewertung
- Durchführung des Projekts

CAD-Module lassen sich in vier Kategorien einteilen:

- geometrische Modellierung
- technische Analyse
- Designbewertung
- Erstellung und Erstellung der Zeichnungen

3.2. CAD Systeme

CAD systémy je možné rozdělit do tří kategorií:

- niedriger
- Medium
- höher
- groß

Die folgenden Kriterien werden verwendet, um festzustellen, in welche Kategorie sie fallen:

- Zeichen- und Modellierungswerkzeuge verfügbar
- Kaufpreis
- Produkt-Support und Reseller-Support

CAD-Systeme wie AutoCAD LT, TurboCAD Delux können in CAD-Systeme von untergeordneten CAD-Systemen integriert werden. Dies sind Systeme, die die Erstellung von zweidimensionalen Objekten (Modellen) unterstützen und die Generierung der Zeichnungsdokumentation ermöglichen. Einige Systeme bieten die Möglichkeit, mit einem Drahtmodellierer eine einfache dreidimensionale Konstruktion zu erstellen.

CAD-Systeme des Mittelstandes können durch AutoCAD, Microstation, TurboCAD Professional, KeyCreator (CADKEY) dargestellt werden. Alle diese Systeme beinhalten dreidimensionale Modellierungswerkzeuge, einschließlich Visualisierungswerkzeuge. Sie eignen sich sowohl für die Zeichnungsdokumentation als auch für die Erstellung der Dokumentation für die Marketingabteilung als dreidimensionale Darstellung des Endprodukts. Der Vorteil dieser Systeme ist ihre Offenheit, die es ermöglicht, spezielle Programme - Aufbauten - nach den Anforderungen der Konstrukteure zu erstellen.

Große CAD-Systeme sind vollständig dreidimensionale Systeme, die die Erstellung eines

dreidimensionalen Modells für die Zeichnungsdokumentation erfordern. Das Modell erstellt dann Baugruppen oder Zeichnungsdokumentationen. Einer der Vorteile von High-End-CAD-Systemen besteht darin, dass sie über parametrische Modellierer verfügen. Für den Anwender bedeutet dies, dass das Zeichnungsmodell immer verbunden ist und alle Änderungen an einem Teil sowohl in der Zeichnung als auch im Modell berücksichtigt werden. Außerdem sind diese Systeme offen und ermöglichen die Erstellung von Aufbauten nach Kundenwunsch.

3.3. Schnittstelle zwischen Computer und Mensch

- DOS - Textmodus
- MS Windows - Grafische Arbeitsumgebung
- Virtual Reality - Überbauung über das Betriebssystem
- Virtual Reality (VR) ist der jüngste Schritt in der Entwicklung einer Mensch-zu-Computer-Kommunikationsschnittstelle.

Die Entwicklung der Kommunikationsschnittstelle erfolgte in den folgenden Phasen:

- Lochband und Druckausgabe - Vergangenheit
- Tastatur und Monitor - Präsentieren. Für die verständliche Kommunikation wurde eine grafische Kommunikationsumgebung geschaffen - GUI - Graphics User Interface (Symbolmenü, Verteilung der GUI auf beliebig viele Panels - Fenster).
- Virtuelle Realität - eine nahe Zukunft

Der AdR kann die folgenden Bereiche der menschlichen Tätigkeit abdecken:

- Modellierung
- Kommunikation
- antreibend
- Spaß

Derzeit werden drei Stufen von VR unterschieden:

- Passiv
- Aktiv
- Interaktiv

Passive VR - zeichnet sich dadurch aus, dass wir beobachten, hören, fühlen können, aber es ist nicht möglich, die Bewegungen zu kontrollieren.

Aktives VR - Bietet die Möglichkeit, die Umgebung zu erkunden, die Möglichkeit, sich in einer virtuellen Umgebung zu bewegen (Fliegen, Gehen, Schwimmen....). In diesem Stadium werden Spaziergänge durch Gebäude oder durch die Betrachtung virtueller Kunstwerke durchgeführt.

Interaktives VR - Ermöglicht es Ihnen, sich mit der Umgebung vertraut zu machen, sie zu erforschen und nach unseren Vorstellungen zu verändern (nehmen Sie sich ein Buch und scrollen Sie es durch).

Wir nehmen die virtuelle Welt auf drei Arten wahr:

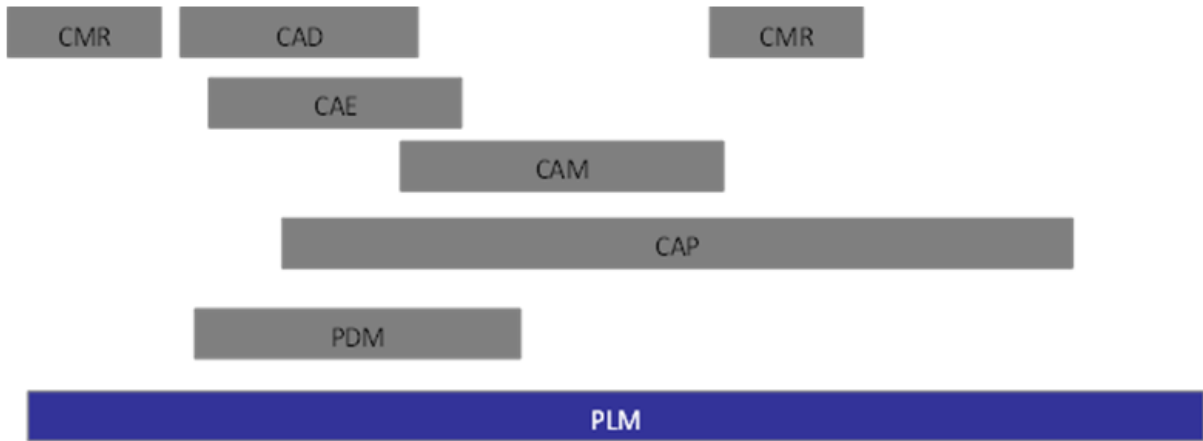
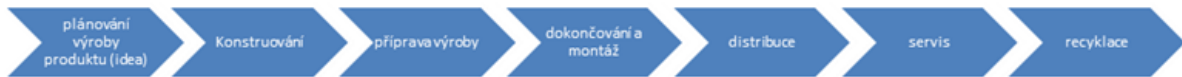
- Vision
- Anhörung
- Berührung

Vision - Das VR-System respektiert die grundlegenden Abbildungsmuster, d.h. Perspektive und Beleuchtung (die Bildgebung war die erste Methode, um in das VR einzudringen).

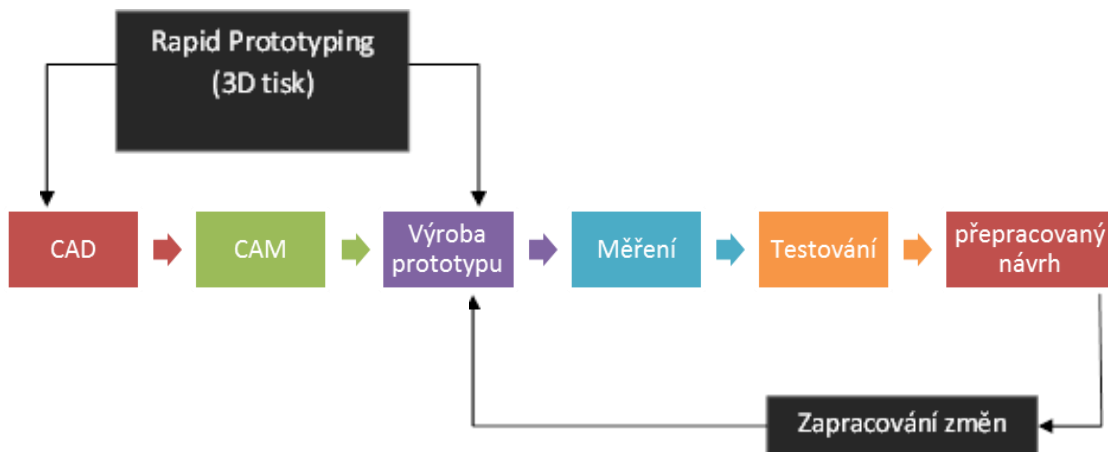
Hören - Klangwahrnehmungen helfen, VR zu verstehen - heute ist es der übliche "Surround".

Berührung - eine sehr wichtige Gelegenheit, die Fakten im AdR zu verstehen.

Prozess der Unternehmensführung in der Fertigung unter Verwendung von PLM und CAD/CAM-Integration:

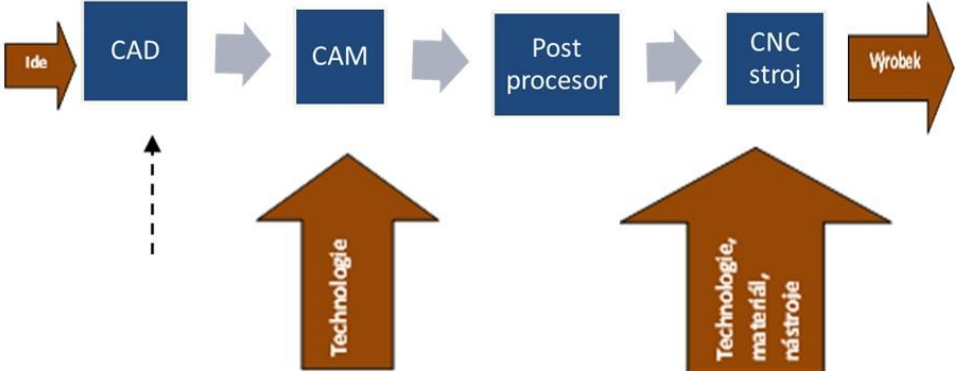


Produktentwicklungsprozess mit CAD / CAM:



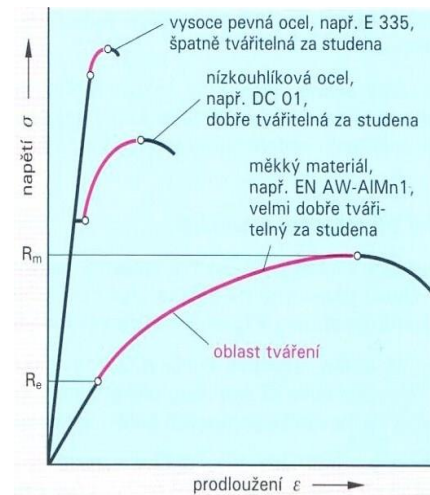
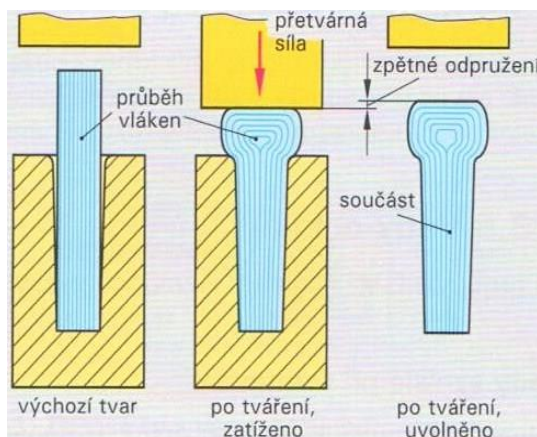
Proces der Herstellung von Bauteilen mit CAD/CAM-Systemen:

Proces výroby součásti s využitím CAD/CAM systémů:



4. Kaltumformung

Die Umformung ist ein Teil der Ingenieurtechnik, bei dem wir Eigenschaften, Abmessungen und Form durch äußere Kräfte verändern. Die Formänderung erfolgt durch die Übertragung der Metallpartikel aufgrund der Plastizität. Es ist die wichtigste Eigenschaft von Metallen und bietet Festigkeit und Flexibilität. Die Struktur des Materials bleibt erhalten und verbessert die Festigkeit.



4.1. Tropverfahren

tváření ohybem	tváření tahem a tlakem	tváření tlakem	tváření tahem	tváření smykem
volné ohýbání ohýbací čelist volné ohýbání plechu	protahování tažení průvlakem	válcování válcování	prodlužování natahování	kroucení zkroucování
ohýbání v ohýbadle ohýbání plechu v ohýbadle	tažení při plošném tváření tažení dutých těles	zápustkové tváření kování v zápustce	rozšiřování rozšiřování trnem	přesazování vyrábění excentru
zakružování ohýbání závěsů	rotační tváření (kroužení) tváření dutých těles	vytlačování orýsování	přetahování přetahování	

Wir können die Prozesse unterteilen durch:

- Temperatur
- Kaltumformung (der Prozess findet bei einer Temperatur unter $T \leq 0,3 T_1$ statt)
 - T - Blocktemperatur in K
 - T_1 - der Schmelzpunkt des Metalls in K
- Warmumformung (das Verfahren findet bei Temperaturen statt, bei denen die Rekristallisation im Formprozess so schnell voranschreitet, dass die durch die Verformung erhaltene Verstärkung während des Formprozesses durchlaufen wird (Temperaturen sind höher als $T \leq 0,7 T_1$)).
- Thermischer Effekt - die Formtemperatur wird nicht vollständig genutzt, der Blockprozess geht mit dem Wirkungsgrad weiter $\epsilon = A_d / E$,
- Formationsarbeiten für den Verformungsprozess
- E - Energie der Maschine zu Beginn der Formgebung.

Wir können die Prozesse unterteilen in:

- Isotherm - die entwickelte Wärme wird an die Umgebung abgegeben, die Metalltemperatur ist konstant, die Metallverformung ist reversibel oder irreversibel.
- Adiabatisch - entwickelte Wärme bleibt im Metall, wird zur Erhöhung der Temperatur verbraucht.
- Die polytropisch extrudierte Wärme wird teilweise in die Umgebung abgegeben, ein Teil bleibt im Metall, eine Rekristallisation findet nicht statt, da die Verformungsrate höher ist als die Rekristallisationsrate.
- Erreichter Verformungsgrad - der höchste Verformungsgrad bestimmt das Ausmaß der Formänderung und der Abmessungen des geformten Produkts.

Formgesetze

- Das Gesetz der Konstanz (Volumenkonstante)
- Das Gesetz der Eigen- und Zusatzspannungen
- Das Gesetz des geringsten Widerstands
- Das Gesetz der konstanten (konstanten) potentiellen Energie der Formänderung
- Das Gesetz der Ähnlichkeit
- Gesetz über die Nichtkonformität von elastischen Spannungen (Verformungen)
- Das Konsolidierungsgesetz
- Gesetz verängstigt

4.2. Kaltumformung

Die Kaltumformung ist die technologische Verarbeitung des Materials. Während dieser Verarbeitung liegt die Temperatur unter der Rekristallisationstemperatur. Die Rekristal-

lisationstemperatur T_r ist unterschiedlich und materialabhängig und wird daher allgemein als Schmelzpunkt T_t bezeichnet. Für die meisten Metalle gilt die Beziehung:

$$T_r = 0,4 T_t \quad [K]$$

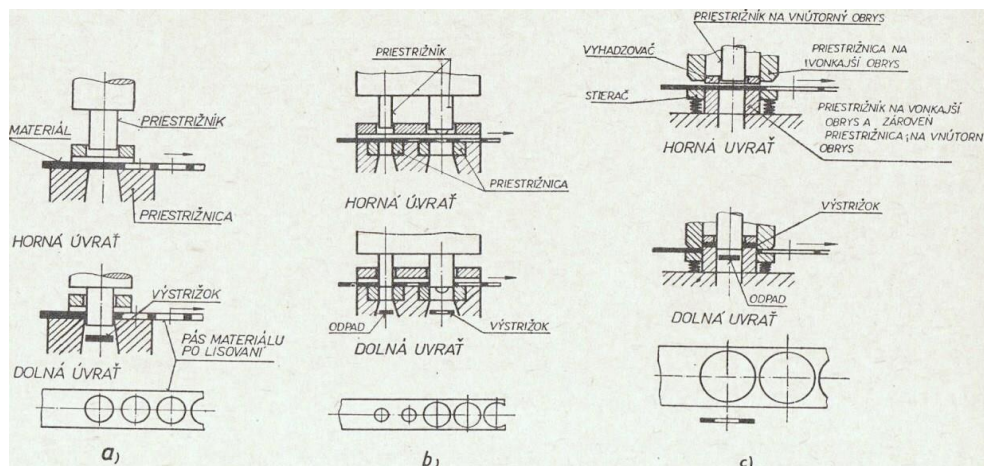
Unter Presstechnik nach ČSN 226201 versteht man die Verarbeitung von Metall und anderen Halbzeugen und Materialien durch Schneiden oder Umformen. Wir können beide Wege nutzen, um ein Stück oder Halbzeug in der gewünschten Größe und Form herzustellen. In der Presstechnik sprechen wir über die folgenden Basisparcs:

- **Schneidstoff** - allmähliche oder gleichzeitige Trennung des Materials durch Schneidwerkzeuge
- **Formgebung (Materialverdrängung)** - Mechanische Bearbeitung durch Bewegen des Teils durch Ziehen und Pressen

Wir teilen die Crimpwerkzeuge wie folgt durch einen Hub:

- **Einfach** - ein Arbeitshub pro Arbeitsgang (Abbildung 6 13a),
- **Progressiv** - zwei oder mehr Aufgaben - führten ein Werkzeug in Folge aus (Abbildung 6 13b),
- **Zugehörig** - Werkzeuge, die einfache oder progressive Werkzeuge verbinden oder kombinieren, indem sie mehrere Operationen verschiedener Art durchführen (Abbildung 6 13c, wie z.B. Biegen und Stanzen).

Presswerkzeuge



a - simple, b - progressiv, c - assoziiert.

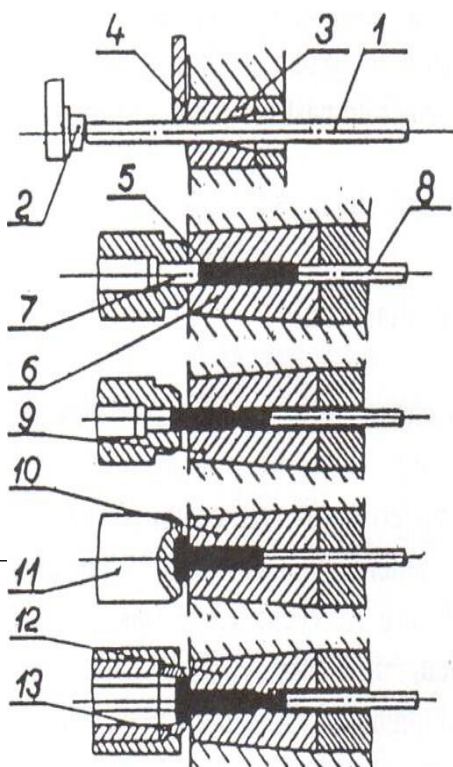
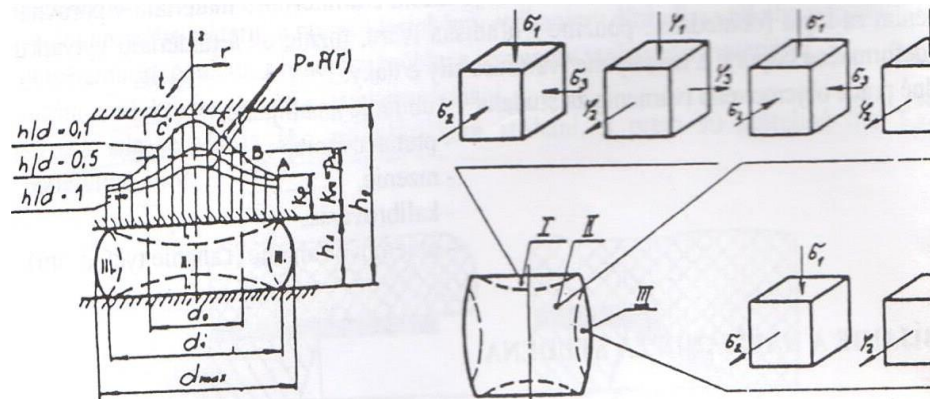
- Die Kaltverformung ist der Prozess der Umformung des Rohlings, der durch Schneiden oder Schneiden aus dem Stabmaterial hergestellt wird.

- Der Prozess wird unter der Temperatur der Rekristallisation des geformten Materials durchgeführt.
- Die Verformungsverstärkung des Materials ist ein Begleitmerkmal des Kaltvolumentformens.
- Es ist das Ergebnis einer Erhöhung der Härte und Festigkeit des Materials.

4.3. Auffangen und Laden mit Kälte

- Kollabieren - Das Material wird durch Verschieben verdichtet, so dass der Querschnitt des Werkstücks auf die Länge oder Höhe zunimmt.
- Das Aufladen ist im Grunde genommen der Prozess des Sinkens. Es entsteht ein Prozess der Querschnittsvergrößerung entweder am Ende oder an einem anderen Querschnittspunkt.
- Reibung an den Kontaktflächen ist auch die Ursache für die ungleichmäßige Verteilung des Formdrucks auf diesen Oberflächen und die Bildung der sogenannten tonnenförmigen Form im frei fließenden Zustand.

Spannungs- und Dehnungsschema bei Druckabfall und Verteilung auf Kontaktflächen



Schematische Darstellung des Betriebszyklus der vier Betriebsverfahren

- 1-Draht,
- 2-Stufig,
- 3,4-Frästisch,

5-Halbzeug,
6, 9, 10, 12 Würfel,
7-Takt,
11-köpfiger Jäger,
13-Trimmer

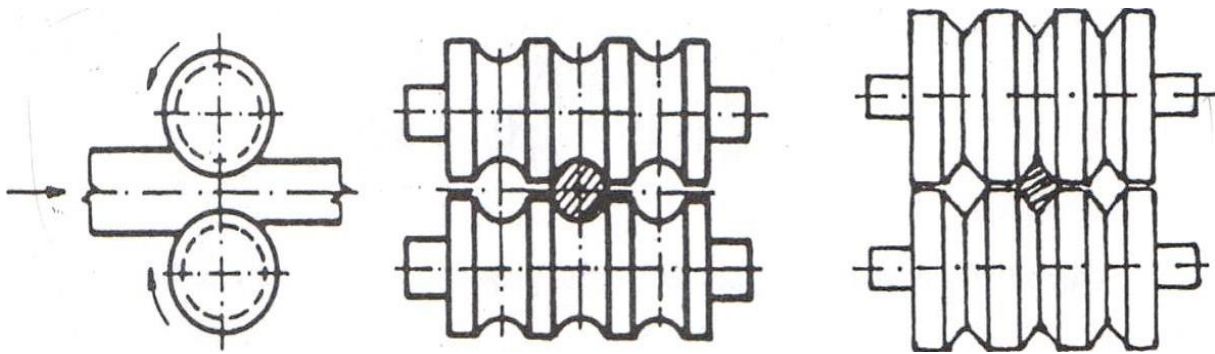
4.4. Walzen

Unter Walzen versteht man einen kontinuierlichen Prozess, bei dem sich das geformte Material zwischen rotierenden Arbeitswalzen unter Bedingungen mit überwiegend vielseitigem Druck verformt. Das gewalzte Material verformt sich zwischen den Zylindern. Das Walzen erfolgt hauptsächlich heiß, aber auch kalt. Das Ergebnis des Prozesses ist das Walzen.

Wir teilen den Betrieb des Walzens:

- Längswalzen - die Zylinderachsen sind parallel, der Rohling wird zwischen die Walzen gezogen - die Walzen werden "gegeneinander" gedreht.
- Längswalzen:
- (Fig.6.19) - die Form des Messschiebers wird durch den Querschnitt des Walzwerkes bestimmt,
- Das intermittierende Formen findet in einem Kaliber statt, das auf dem Teil des Umfangs des Zylinders gebildet wird,
- Die periodische - Kaliberform ist die sich wiederholende Form des Produkts.

Diagramm des Längs-Durchlaufwalzens



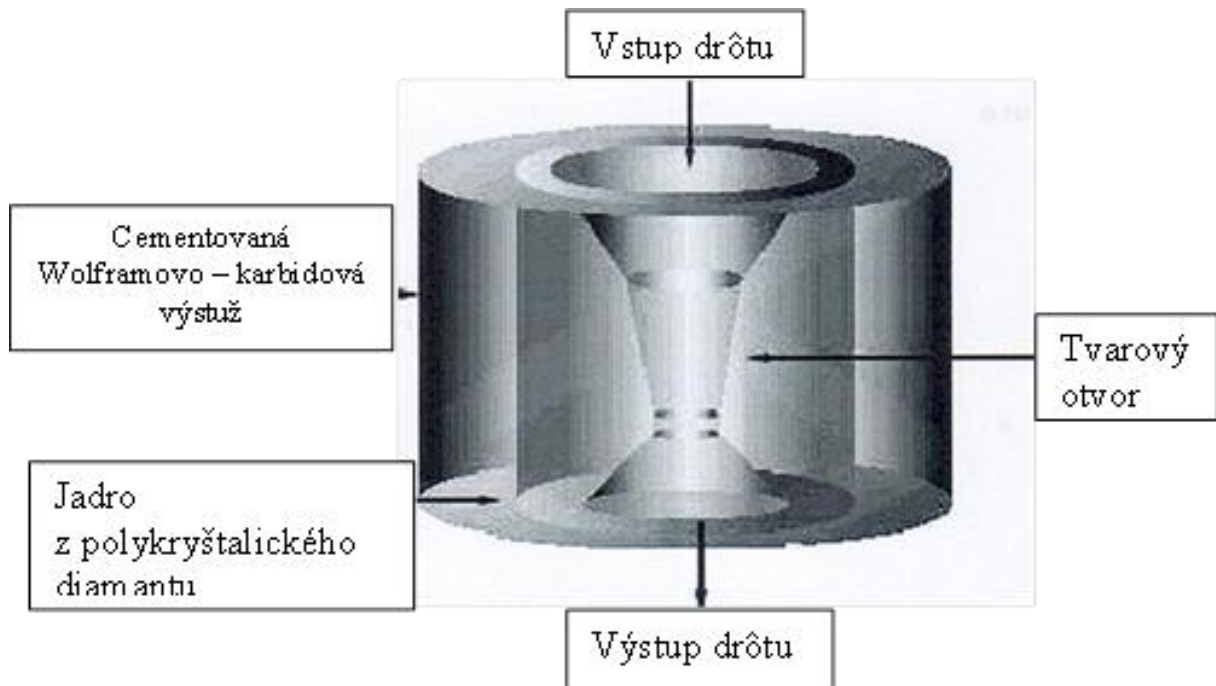
a- Walzen einer Stange mit kreisförmigem Querschnitt, b- Walzen einer Stange mit quadratischem Querschnitt

- Querwalzen - die Zylinder und Halbzeugachsen sind parallel. Die Drehrichtung der Rollen ist gleich. Der Rohling dreht sich zwischen den Zylindern um seine Achse. Der Durchmesser des gewalzten Halbzeugs ändert sich.
- Rollzylinder - die Zylinderachsen sind nicht parallel, sie bilden den Winkel von etwa 5° . Der Kolben dreht sich um die Achse und fährt vorwärts. Die Zugspannungen im Inneren des Produkts bilden einen Hohlraum. Unterteilt in:
 - Abnäher durch Walzen - Der Hohlraum wird mit einem Dorn geformt.
 - Langlebiges Walzen - die Form der Walze wird durch das Schraubenkaliber am Umfang der Walzen bestimmt.
- Ausrollen - der schalungsringförmige Rohling wird von der Andruckrolle in die gewünschte Form aufgerollt.
- Stricken - basiert auf der Bildung von Rillen auf der Oberfläche des rotierenden Rohlings.
- Gewindewalzen - Gewindezylinder bilden ein Gewinde auf dem Rohling. Das Gewindewalzen findet in der Serien- und Massenproduktion statt.

4.5. Draht- und Profalzüge

Der Zug zieht den Rohling durch die Öffnung der Matrize, was den Querschnitt reduziert und die Länge vergrößert. Gleichzeitig ändern sich die mechanischen Eigenschaften (steigende Schlupfgrenzen und Festigkeitsgrenzen). Verbessert die Oberflächenqualität und erreicht präzise Formen und Abmessungen.

Diagramm zeichnen



Ziehen von Rohren und Profilen

Beim Ziehen von nahtlosen Rohren und Profilen wird das intermittierende Verfahren angewendet.

Grundlegende Methoden des Rohrziehens:

- Pulling Pulls
- Ziehen auf einem gehaltenen Dorn,
- Ich ziehe am freien Dorn,
- An einer Stange ziehen,
- Profile mit unregelmäßigen Formen

4.6. Überdruck

Überdruck ist ein Formprozess. Bei diesem Verfahren wird das Material über einen verengten Querschnitt gepresst (Extrusionswerkzeug). Mit diesem Verfahren werden in der Regel kleinere, praktisch fertige Fertigprodukte aus Nichteisenmetallen, Weichstählen, aber auch aus hochfestem Stahl und Werkzeugstahl hergestellt.

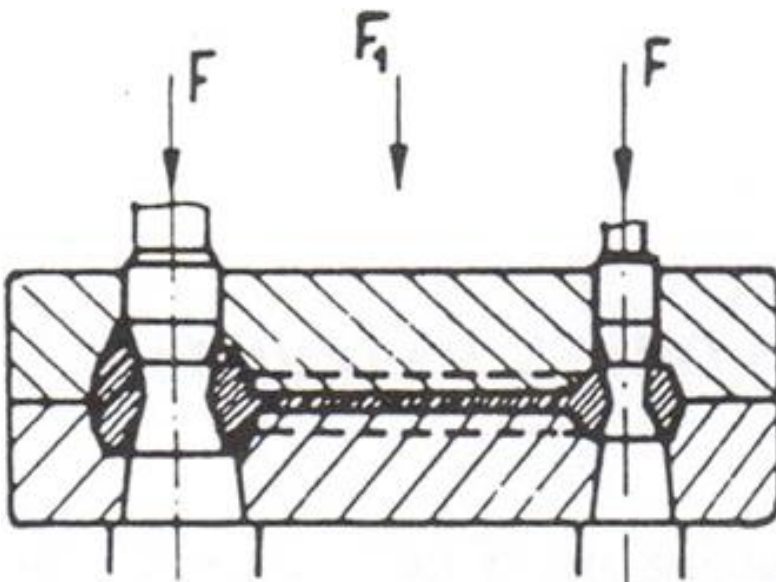
4.7. Routing

Im technologischen Prozess des Schneidens wird die Dicke des Werkstücks verändert. Das geformte Material füllt den Raum zwischen dem Stempel und dem Formstempel. Die Form- und Maßhaltigkeit ist abhängig von der Größe des Produkts und der Art des zu verbrauchenden Materials. Bewegt sich innerhalb von $\pm 0,05 - 0,1$ mm.

4.8. Kalibrierung

Die Oberflächenkalibrierung dient zur Verfeinerung der Abmessungen der gegenüberliegenden und parallelen Oberflächen des Werkstücks beim Formen von z.B. Vorschaltgeräten, Pleueln, Hebeln usw. Die Kaltkalibrierung wird verwendet, um die geometrische Form und die Abmessungen aller Teile der Teile zu verfeinern. Neben dieser Technologie kann auch die Kalibrierung von Bohrungen mit Kalibrierspitzen durchgeführt werden.

Kalibrierung des Pleuels bei gleichzeitiger Kalibrierung der Löcher



Die Kalibrierung kann in die folgenden Schritte unterteilt werden:

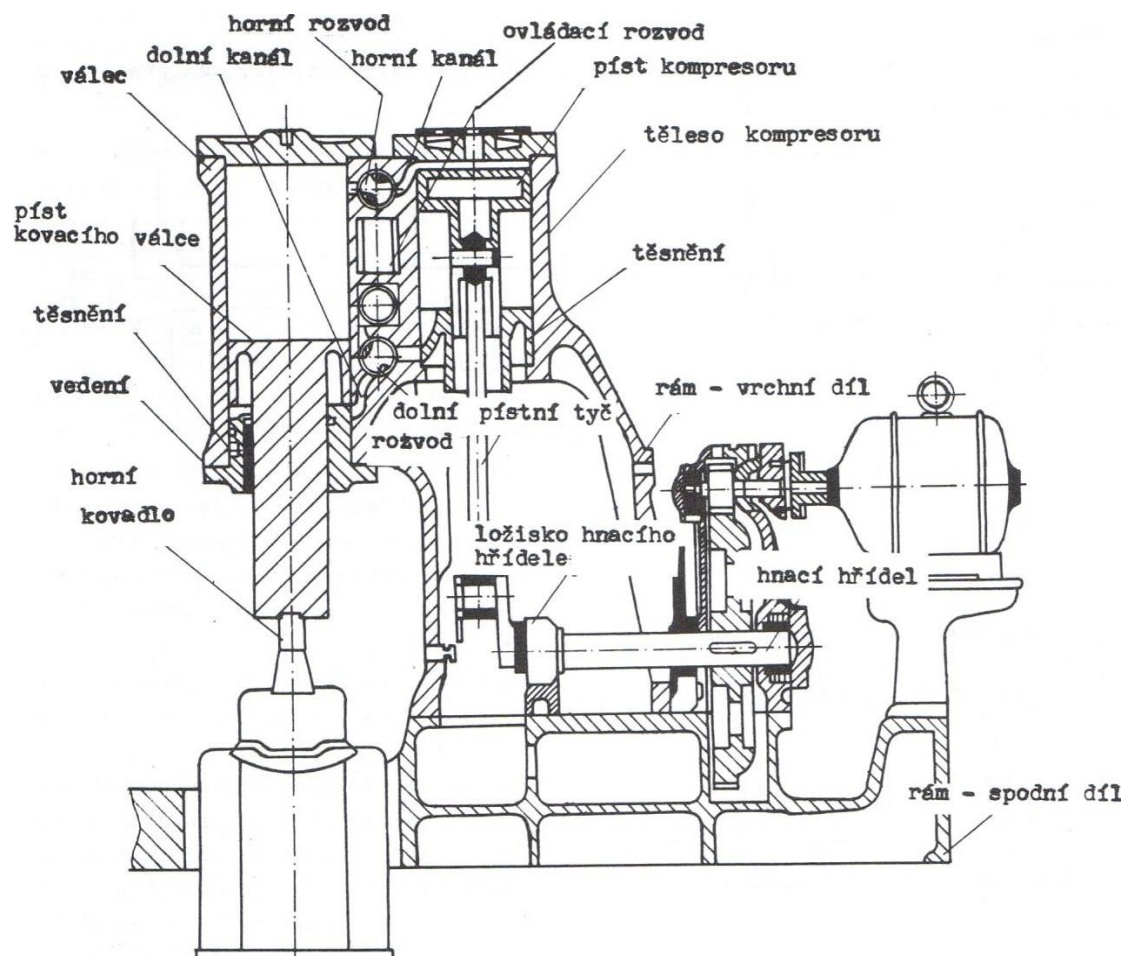
- Kalibrierung durch Sichtkontakt (Push)
- Planare Kalibrierung
- Kalibrierung nach dem Ziehen - flach, lose
- Kalibrierung nach dem Biegen
- Kalibrierung von Bohrungen
- Formkalibrierung

4.9. Kostenlose Schmiede

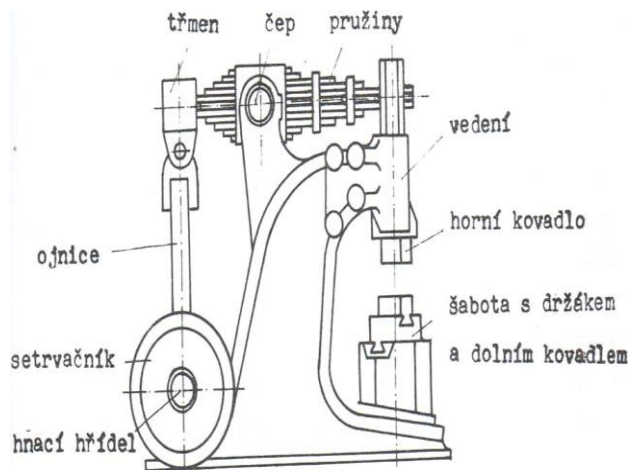
Das Freischmieden kann manuell oder maschinell erfolgen. Das Handschmieden ist eine Frage des künstlerischen Schmiedens. Für die freie Maschinenbestückung wird ein Pre-form oder Barren als Halbzeug verwendet.

Zu den grundlegenden Schneidoperationen gehören Mähen, Überlasten, Stanzen, Stanzen, Stanzen, Versetzen, Biegen und Stanzen.

Kompressor Buchar



Federhammer



4.10. Hanteln

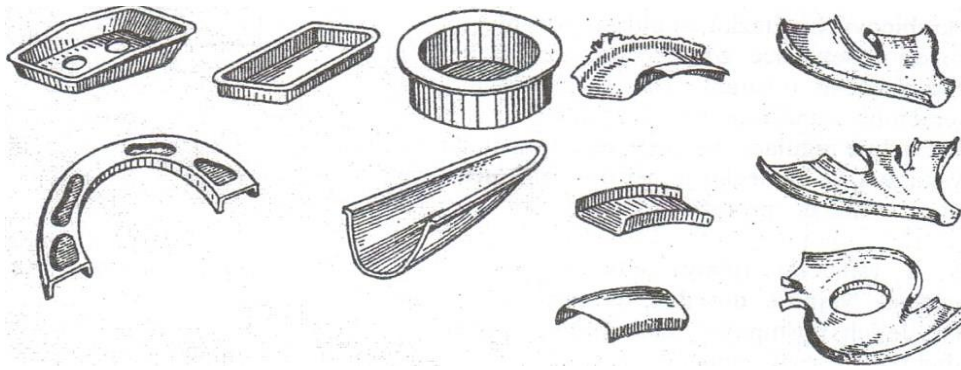
Wir können die Matrizen teilen für:

- Schmieden in offenen Beulen (tatsächlich ist es ein Schmieden mit einer Beule),
- Schmieden in geschlossenen Matrizen (es wird ohne Hefte geschmiedet).

Je nach Art der eingesetzten Schmiedemaschine können wir das Gesenkschmieden in folgende Bereiche unterteilen (Bača, J., Bílik, J., 2000):

- Hämmern,
- Biegen an Pressen
 - Schmieden auf vertikalen Schmiedemaschinen,
 - Schmieden auf horizontalen Schmiedemaschinen,
- Schmieden auf Schmiedewalzen.

Formen und Teile in Eimern hergestellt



4.11. Oberflächenverformung

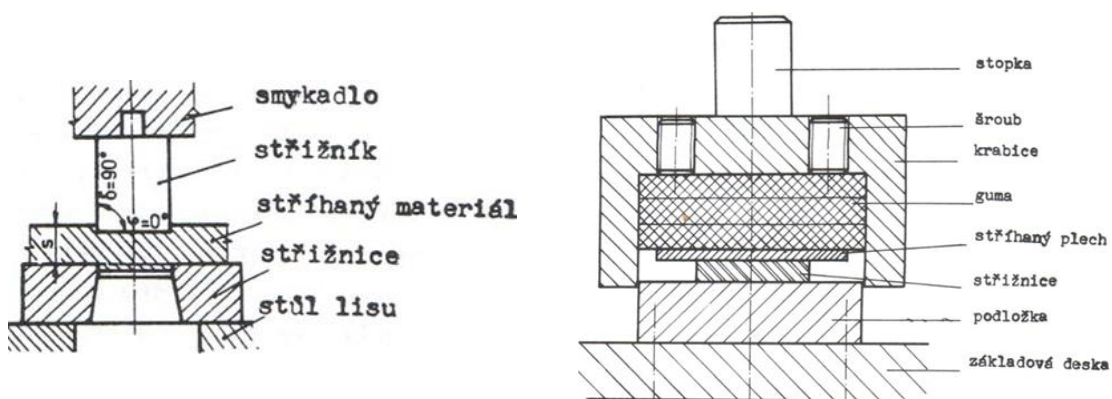
Das Oberflächenformen ist ein Prozess, bei dem eine Formänderung auftritt. Der Blechrohling wird in das gewünschte Teil umgewandelt. Wir unterteilen das Werkzeug in einen einstufigen, schrittweisen und mehrstufigen Prozess für den oberflächenverformenden Betrieb des Werkzeugs.

4.12. Schneiden

Das Schneiden ist die am häufigsten verwendete Formgebungsoperation. Das Schneiden wird in

Schmieden und Fräsen eingesetzt für:

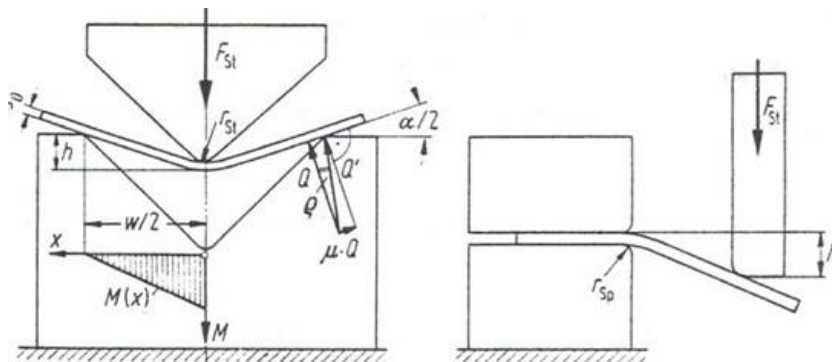
- Schneiden von Teilen,
- Unterteilung der Basisplotter.
- Endbearbeitungen,
- Hilfsbetriebe.



4.13. Biegen

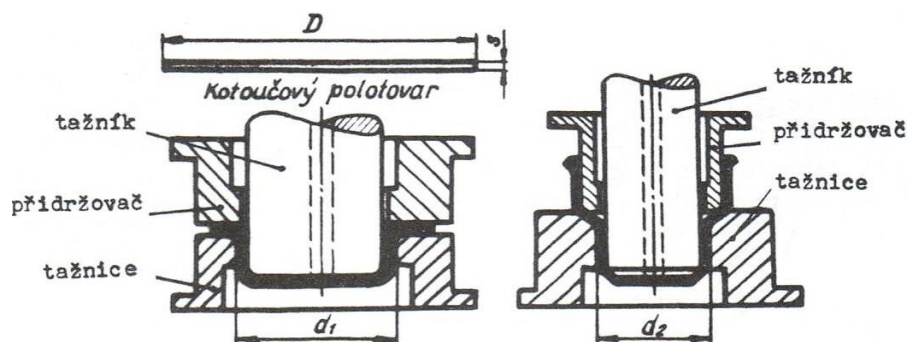
Biegen ist eine elastisch-plastische Verformung. Diese Verzerrung wird durch Momente externer Kräfte verursacht. Es geht darum, scharfe oder abgerundete Kanten zu erzeugen. Dieser Vorgang ermöglicht das Richten von unsachgemäß geformten Blechen.

Freies Biegen



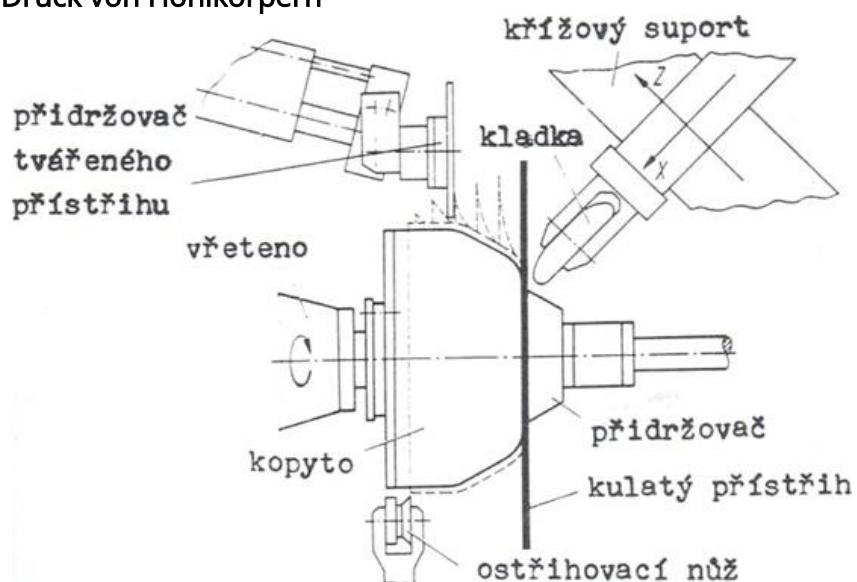
4.14. Ziehen

Zieht mit dem Halter im ersten und zweiten Zugvorgang.



4.15. Pressen

Druck von Hohlkörpern



MASCHINENBAU 2

5. Kennzeichnung von technischen Materialien

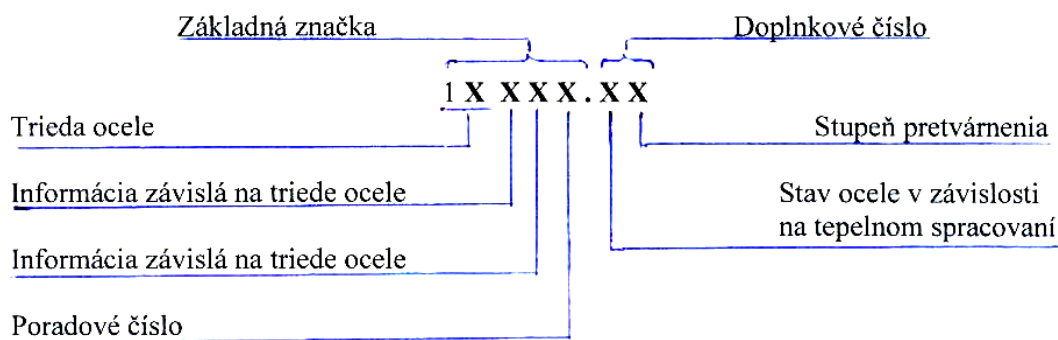
Metalle werden durch eine numerische Kennzeichnung nach der Norm STN 42 0002 gekennzeichnet, die jedoch nur vorübergehend ist. Es wurde bereits eine Kennzeichnung nach EN verwendet. Die numerische Markierung ist in der Bauteilzeichnung geschrieben, Liste der Details in der Konstruktion von Maschinenbaugruppen, sie wird auch im Geschäftsleben verwendet.

5.1. Kennzeichnung von technischem Eisen

Geformter Stahl:

Die Kennzeichnung besteht aus einer fünfstelligen und einer zweistelligen Zusatzmarkierung, die durch einen Punkt getrennt sind. Basierend auf der chemischen Zusammensetzung wird Stahl in Klassen eingeteilt. Die Kennzeichnung, die die Klasse angibt, sind die ersten beiden Ziffern der Grundmarkierung, getrennt durch eine Lücke zu den anderen Ziffern. Dies wird als Stahlklassenkennzeichnung bezeichnet.

Die Stahlklassenmarkierung beginnt immer mit 1, das Markierungsmuster ist wie folgt:



Legende: základná značka - Basismarke, doplnkové číslo - zusätzliche Nummer, trieda ocele - Stahlklasse, informácia závislá na triede ocele - Informationen je nach Stahlklasse, poradové číslo - Seriennummer, stupeň pretvárení - Verformungsgrad, stav ocele v závislosti na tepelnom spracovaní - Stahlzustand je nach Wärmebehandlung

Im Maschinenbaudiagramm wird die Bedeutung der einzelnen Ziffern im Detail erläutert.

Die Stahlklassen sind wie folgt:

10 + + + + + ohne garantierte chemische Zusammensetzung
Baustahl in gewohnter Qualität

11 + + + + + garantierter S- und P-Gehalt

12 + + + + Kohlenstoffstahl (für Einsatzhärten, Veredeln, Federstahl)

13 + + + + Legierung zum Einsatzhärten (Mn, Si, Mn-Si)

14 + + + + + zum Verfeinern (Cr, Mn-Cr, Si-Cr,
Baustahl Cr-Al, Cr-Mn-Si)

15 + + + + + Stahl zum Abschrecken (Cr-Mo, Cr-V, Mn-Cr-Mo,
verfeinert Mn-Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Mo-Al)

16 + + + + + zum Nitrieren (Ni, Cr-Ni, Cr-Ni, Cr-Ni-Mo, Ni-Cr-W)

17 + + + + + legiert mit hohem Anteil an Additiven korrosionsbeständige und feuerfeste
Stähle

Hochtemperaturstahl

18 + + + + + zusätzliche Materialien, Sintermetalle

19 + + + + + Werkzeugstahl Kohlenstoff, Legierung, legierter Stahl für Werkzeuge, legierter
Schnellarbeitsstahl

Die Bedeutung der beiden zweiten Ziffern hängt von der Stahlklasse ab. Die letzte Zahl stellt die wichtigen Eigenschaften dar (z.B.: 1 formbarer, 3 schweißbarer Stahl).

Die erste zusätzliche Ziffer gibt den Zustand, die Art der Wärmebehandlung an (z.B.: 1-normalisierter Stahl, 4 gehärteter Stahl, 6,7,8 verfeinert auf untere, obere und mittlere Festigkeit).

Die zweite zusätzliche Zahl gibt den Grad der Verformung an.

Beispiel: 11 523.11 12 061.4 19 436.4

Stahl zum Gießen:

Die Grundmarkierung ist eine 6-stellige Markierung. Die ersten beiden Ziffern sind 42, die metallurgische Gruppe. Es folgt eine Lücke. Die zweiten beiden Ziffern sind: **26 - Kohlenstoffstahl**, **27,28,29 - legierter Stahl**, die Bedeutung der dritten beiden Ziffern hängt von der Art des Stahls ab. Die erste zusätzliche Zahl nach dem Punkt zeigt den Zustand an, die zweite die gewünschten Eigenschaften.

Beispiel: Kohlenstoff: 42 2650, legierter Stahl: 42 2712, 42 2815, 42 2931

Gusseisen:

Die Kennzeichnung von Gusseisen ist eine 6-stellige Zahl, die mit 42 beginnt. Die zweiten beiden Ziffern zeigen die Art des Gusseisens an:

- **Duktiles Gusseisen** - 23,
- **Graustich** - 24. Die dritte zweistellige Zahl gibt die niedrigste Zugfestigkeit bei ferritisch duktilem Gusseisen (in Zehntel MPa) an,
- **Temperguss**: die zweiten beiden Ziffern - 25, die dritten beiden Ziffern zeigen die niedrigste Duktilität (in %) im Falle von ferritischem Gusseisen und die niedrigste Zugfestigkeit im Falle von Perlitguss (in Zehntel MPa).

Beispiel: 42 2438, 42 2530.

5.2. Kennzeichnung von Nichteisenmetallen

Aluminium und seine Legierungen

Die Markierung besteht aus sechs Ziffern, wobei die ersten beiden Ziffern 42, die dritte Ziffer 4 sind, was eine Bezeichnung für Leichtmetalle ist.

- Die vierte Zahl: Gerade Zahl bezeichnet gebildete Legierungen, ungerade Zahl bezeichnet Legierungen zum Gießen.
- Die beiden Ziffern, bestehend aus der vierten und fünften Ziffer, kennzeichnen Leichtmetalle (z.B. Reinaluminium, Al Cu Mg, Al Mg-Legierungen, etc.).
- Die sechste Zahl ist die Seriennummer von Metall oder Legierung.
- Die zusätzliche zweistellige Zahl gibt den Zustand und die Qualität des geformten Materials an.

Bei Gusswerkstoffen gibt die erste zusätzliche Ziffer den Zustand nach der Gießwärmbehandlung an, die zweite zusätzliche Ziffer das Gießverfahren.

Beispiel: 42 4004, 42 4415.

Kupfer und seine Legierungen

Die Kennzeichnung besteht aus sechs Ziffern, wobei die ersten beiden Ziffern 42, die dritte Ziffer 3 sind, was eine Bezeichnung für Schwermetalle ist.

- Die vierte Zahl: Gerade Zahl bezeichnet gebildete Legierungen, ungerade Zahl bezeichnet Legierungen zum Gießen.
- Die zweistellige Zahl aus der vierten und fünften Zahl kennzeichnet Schwermetalle.
- Die sechste Zahl ist die Seriennummer von Metall oder Legierung.
- Eine zusätzliche zweistellige Zahl gibt den Zustand und die Qualität des geformten Materials an.

Im Falle von Gusswerkstoffen gibt die erste zusätzliche Zahl den Zustand nach der Wärmebehandlung des Gussteils an, die zweite zusätzliche Zahl gibt das Gießverfahren an.

Beispiel: 42 3016, 42 3256.

Ähnlich ist die Kennzeichnung bei Weichlote, bei denen die Schmelztemperatur die wichtigste Information ist. So ist beispielsweise das Lotmaterial für mit einer Schmelztemperatur von 183 °C als 42 3635 gekennzeichnet, für Silberlot mit einer Schmelztemperatur zwischen 650 und 810 °C als 42 3809. Weitere Informationen finden Sie im Kapitel Lote.

5.3. Kennzeichnung von nichtmetallischen Werkstoffen

Kennzeichnung von Gummi

Für Gummi wird eine 6-stellige Zahl verwendet, wobei die ersten beiden Ziffern 62 sind.

Beispiel:

62 2026 - für Schläuche, Unterlegscheiben, allgemeine Verwendung,

62 2314 - chemikalienbeständig.

Kennzeichnung von Kunststoffen

Kunststoffe sind mit einer 6-stelligen Nummer gekennzeichnet, wobei die ersten beiden Ziffern 64 sind.

Beispiel:

64 3211 - bearbeitbare harte Polyvinylchloridplatten,

64 7003 - Kunstleder auf Stoff oder anderem Textil.

5.4. Kurzübersicht über die technische Materialkennzeichnung

Stahl: eine fünfstellige Zahl, die immer mit 1 beginnt, die zweiten beiden Ziffern geben die Klasse an (von 10 bis 19). Es folgen ein Punkt und eine zusätzliche Zahl (der Zustand des Stahls).

Beispiel:

11500.4 19 436.6

Stahlguss: eine sechsstellige Zahl. Beginnend immer mit 42, den zweiten beiden Ziffern 26 - (am häufigsten), oder 27, 28, 29. Die zusätzliche Nummer wie bei Stahl.

Beispiel:

Kohlenstoffstahl - 42 2650, legierter Stahl - 42 2712, 42 2815, 42 2931.

Gusseisen:

Grauwurf - eine sechsstellige Zahl, die immer mit 42 beginnt, gefolgt von 24 oder 23.

Temperiert - eine sechsstellige Zahl, die immer mit 42 beginnt, gefolgt von 25.

Beispiel:

grau - 42 2438, gehärtet - 42 2530.

Aluminium und seine Legierungen: eine sechsstellige Zahl, die mit 42 beginnt, gefolgt von 4.

Beispiel:

42 4004, 42 4415.

Kupfer und seine Legierungen: eine 6-stellige Zahl, die mit 42 beginnt, gefolgt von 3.

Beispiel:

42 3016, 42 3256.

Gummi: eine 6-stellige Zahl, die mit 62 beginnt.

Beispiel:

62 2026, 62 2314

Kunststoffe: eine 6-stellige Zahl, die mit 64 beginnt.

Beispiel:

64 3211, 64 7003

6. Physikalische Eigenschaften und Mechanismus der plastischen Verformung

6.1. Physikalische Eigenschaften

Dichte: das Verhältnis von Masse m zu Volumen V eines homogenen Materials bei einer bestimmten Temperatur:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

(6.1)

Die Schmelz- und Erstarrungstemperatur T [°C, °K] - die Temperatur, bei der das Material seinen Zustand ändert. Es ist wichtig für Gießerei, Galvanik, Schweißen, etc. Reinkristalline Materialien (nur 1 Element) weisen konstante Schmelz- und Erstarrungstemperaturen auf. Legierungen, Glas, Keramik haben einen bestimmten Bereich (Intervall) des Schmelzens und der Verfestigung.

Lineare und volumetrische Wärmeausdehnung: temperaturbedingte Längen- und Volumenänderung. Sie ist eine wichtige Größe für Gießereien, Schweißverbindungen usw.

Wärmeleitfähigkeit λ [Wm⁻¹K⁻¹] - es ist die Wärmemenge, die im stationären Zustand über eine Zeiteinheit zwischen zwei gegenüberliegenden Wänden eines Würfels mit einer 1-m-Kante verläuft, wenn die Differenz zwischen der Wandtemperatur 1° K beträgt. Der beste Wärmeleiter ist Silber (Ag). Die Leitfähigkeit anderer Materialien wird in % auf Silber angegeben (Cu - 94%, Al - 55%, Fe - 21%).

Elektrische Leitfähigkeit G [S] - die Fähigkeit des Materials, Strom zu leiten. Ein Leiter mit einem Widerstand von 1 Ω hat eine Leitfähigkeit von 1 S (Siemens). Anhand der Leitfähigkeit unterscheiden wir zwischen Leitern, Nichtleitern (Isolatoren) und Halbleitern (Silizium, Germanium, Silizium, etc.). Die besten Leiter der Elektrizität sind Silber, Kupfer und Aluminium. Kupfer wird verwendet, um die Leitfähigkeit der Materialien mit anderen Metallen zu vergleichen.

Supraleitung ist eine Eigenschaft einiger Metalle, deren elektrischer Widerstand bei sehr niedrigen Temperaturen (nahe 0°K) auf einen nicht nachweisbaren Wert (fast ohne Widerstand) sinkt. Dies ist vor allem bei Gleichstrom und Halbleitern der Fall.

Spezifischer elektrischer Widerstand - ist der Widerstand eines Leiters mit einem Querschnitt von 1 mm² und einer Länge von 1 m. Der beste Isolator ist das Vakuum.

Magnetische Eigenschaften - charakterisieren das Verhalten von Metallen in einem Magnetfeld. Je nach Durchlässigkeit μ können die Materialien eingeteilt werden in:

- **Diamagnetische Materialien** - $\mu < 1$. Sie verstärken nicht die Wirkung des äußeren Magnetfeldes. Diese Materialien beinhalten H, Au, Ag, Sn, Pb, etc. und die meisten organischen Legierungen;
- **Paramagnetische Materialien** - $\mu > 1$, aber näher am 1. Dazu gehören Sauerstoff, Seltenerdelemente, Alkalimetalle, Aluminium, Platin, etc. Sie verstärken die Wirkung des äußeren Magnetfeldes leicht;
- **Ferromagnetische Materialien** - hohe μ abhängig von der Intensität des Magnetfeldes. Dazu gehören Fe, Ni, Co, Cr-Legierungen und Mn. Ferromagnetische Materialien sind:
- **Magnetisch hart** - schwer zu magnetisieren x den Magnetismus auch nach Entfernung des Magnetfeldes beizubehalten (Permanentmagnete),
- **Magnetisch weich** - leicht zu magnetisieren + leicht zu verlierender Magnetismus. Sie werden zur Erzeugung von Magnetkreisen in elektrischen Maschinen und Geräten eingesetzt.

6.2. Chemische Eigenschaften

Die Oberfläche von Metallteilen wird oft durch Umwelteinflüsse beschädigt. Dies wird als Korrosion bezeichnet, die jährlich bis zu 3 % des Metalls beschädigt. Die Korrosionsbeständigkeit wird in einer bestimmten Umgebung bestimmt - in der Natur oder im Labor.

Die Korrosionswirkung wird durch den Metallverlust pro 1 Stunde identifiziert. Es wird in g auf einem cm² angegeben [g cm⁻² h⁻¹].

Die Feuerwiderstandsfähigkeit wird bei höheren Temperaturen (über 600 °C) bestimmt. Sie steigt mit der Zugabe von Al, Cr, Si.

6.3. Mechanische Eigenschaften

Komponenten werden Zugbelastung, Druck, Verdrehung, Scherung und Biegung ausgesetzt. Um ihm zu widerstehen, muss das Material Eigenschaften wie Festigkeit, Härte, Flexibilität, Duktilität usw. aufweisen. Diese Materialien werden getestet, um festzustellen, ob sie die gewünschten Eigenschaften haben.

6.4. Technologische Eigenschaften

Das Material wird auf verschiedene Weise verarbeitet, die entsprechende Eigenschaften erfordern. Sie werden als technologische Eigenschaften bezeichnet, da auf ihrer Grundlage die Verarbeitungstechnologie gewählt wird oder umgekehrt - das Material passt sich der Verarbeitungstechnologie an. Duraluminium (AlCuMg) wird beispielsweise zur Herstellung von massiven, aber leichten Teilen verwendet. Für die Umformung darf das Material nicht starr sein, daher wird es so verarbeitet, dass es weich und dehnbar ist. Anschließend wird es verarbeitet und dann ausgehärtet. Zu den technologischen Eigenschaften gehören Duktilität, Zerspanbarkeit, Schweißbarkeit, Gießbarkeit.

6.5. Legierungen

Als technisch genutzte Metalle werden Legierungen betrachtet, da so genannte Reinelemente andere Elemente enthalten, die in ihnen aus den Ausgangsmaterialien während des Produktionsprozesses entstanden sind oder ihnen bewusst zugesetzt wurden. Legierungen sind somit Mehrkomponentenwerkstoffe, bei denen Metalle die dominierenden Elemente sind.

Die Komponente ist eine einzelne rein chemische Substanz, die einen Teil einer Legierung bildet.

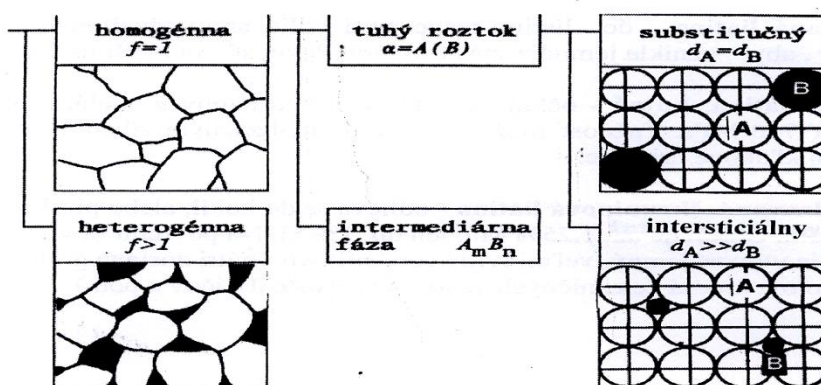
Komponenten von Legierungen interagieren miteinander. Je nach Interaktion unterscheiden wir zwischen den folgenden Legierungstypen:

6.5.1. Homogen:

- **Feste Lösung:** ist mit $\alpha = A(B)$ gekennzeichnet, was bedeutet, dass sich das Metall B in Metall A löst. Die Lösung ist entweder begrenzt oder unbegrenzt. Die Bildung von festen Lösungen kann wie folgt erfolgen:
 - Durch Substitution von Basismetall durch Atom des Additivs. Es wird im Gitter ersetzt. Diese Art von Lösung ist eine Ersatzlösung. Wenn die Substitution regelmäßig erfolgt, ist sie eine arrangierte feste Lösung,
 - Das Atom des Additivs wird zwischen den Atomen des Grundmetalls (in den Räumen des Gitters) hinzugefügt. Dies ist eine interstitielle Lösung;
- **Chemische Verbindung:** wenn die Atomzahl der in die Legierung eindringenden Elemente in ganzen Zahlen ausgedrückt werden kann und sich nicht ändern kann. Dies wird durch eine chemische Formel beschrieben.
- **Intermetallisch - Zwischenphase:** Basismetall mit Additiv schafft ein neues räumliches Gitter, in dem sich die Atome beider Substanzen gegenseitig ersetzen. Es bildet ein neues Material, das weder eine chemische Verbindung noch eine feste Lösung ist.

6.5.2. Heterogen:

wenn das zweite Material eine andere Kristallform aufweist, existieren beide nebeneinander in feinem Abstand, aber jedes hat eine eigene Form. Es ist eine heterogene Mischung (ähnlich wie z.B. Getreide und Mohn).



Die Arten des Legierungsgefüges sind in den Abbildungen 6.10 und 6.11 dargestellt.

Legierungen: Abbildung 6.10 Arten der inneren Legierungsstruktur (f-Zahl der Phasen, d_A, d_B - Atomdurchmesser der Komponenten)

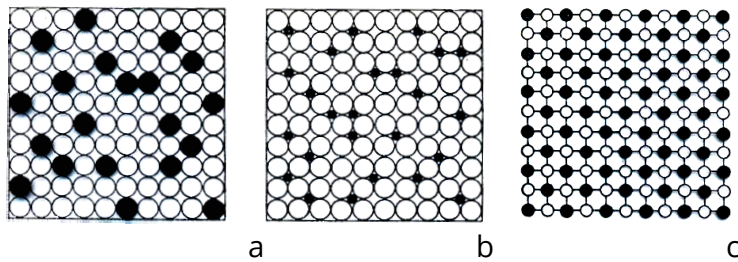


Abbildung 6.11 Feste Lösungen: a - substitutiv, b - interstitiell, c - angeordnete feste Lösung

6.6. Kristallisation von Legierungen

Wir unterscheiden zwischen drei Zuständen von Materialien - fest, flüssig und gasförmig. Hier werden wir uns nur mit dem festen und flüssigen Zustand befassen. Um einen flüssigen Zustand (Schmelze) zu erreichen, muss das Metall erwärmt werden: Atome schwingen, das Volumen nimmt zu, das spezifische Gewicht ist geringer. Wenn die Temperatur so ansteigt, dass die atomare Schwingung groß ist, verliert das Metall seinen Zusammenhalt, es schmilzt.

Hier wird die Dulong - Petit-Regel angewendet: Das Vielfache der spezifischen Wärme und des Atomgewichts entspricht ungefähr 6,2 cal/g oC. Das bedeutet, dass die Materialien mit hohem Atomgewicht (Au, Pt, Pb) eine geringe spezifische Wärme aufweisen.

Wie bereits erwähnt, verändert Wärme oft das Kristallgitter auch im festen Zustand - die Atome werden neu angeordnet. Man nennt es Überkristallisation: Es entsteht eine neue Modifikation, z.B. bei Eisen, Zinn (Zinnschädling) und anderen. Dieses Phänomen wird als Allotropie bezeichnet.

Die Schmelzabkühlung bewirkt ihre Verfestigung. Die Verfestigung ist der Prozess der Umwandlung des flüssigen Zustandes in den festen Zustand. Wenn sich das Material als Kristall verfestigt, spricht man von Kristallisation.

Primärkristallisationsprozess - es ist ein Übergang vom geschmolzenen Zustand in den festen Zustand. Dort werden die Gesetze der Thermodynamik angewendet. Die Übergänge erfolgen auf der Grundlage der Umwandlung der energetisch weniger effizienten Phase in eine effizientere Phase. Wenn die Festphase energetisch effizient ist, beginnt der Verfestigungsprozess...

Um den oben genannten Übergangsprozess vollständig zu verstehen, wird er im folgen-

den Kapitel näher beschrieben. Zunächst sollen einige neue Begriffe erwähnt werden: Reine Metalle, eutektische Legierungen, chemische Verbindungen kristallisieren, d.h. erstarren bei konstanter Temperatur; sie schmelzen auch bei gleicher Temperatur. Andere Legierungen erstarren in einem Temperaturintervall.

Für die Kristallisation sind die folgenden Faktoren wichtig:

- **spontane Kristallisationsfähigkeit** (ergibt eine Anzahl von Kristallisationskeimen),
- **lineare Kristallisationsgeschwindigkeit** (drückt die Geschwindigkeit des Kristallwachstums aus).
- **Neben diesen Faktoren ist die Unterkühlung (Unterkühlung)** - eine geringere atomare Mobilität, die eher kollidiert, und so entsteht der Keim, der später wächst.

Die Größe der oben genannten Faktoren und ihre gegenseitige Beziehung beeinflussen die Rauheit der Struktur. Es wird auch durch Gießformen, Schüttelfrost, Impfung, Metallreinheit beeinflusst.

Wenn die Kerne direkt aus dem Basismetall stammen, spricht man von einer homogenen Keimbildung. Wir sagen, dass die Kristallisation spontan ist.

Wenn die Kerne auf anderen Materialien (Carbide, Oxide, Nitride, Graphit, Festmetalladditive, Impfmittel, Verunreinigungen usw.) gebildet werden und wachsen, spricht man von einer heterogenen Keimbildung.

Kerne treten nur bei einer bestimmten Temperatur auf, wenn die Temperatur höher ist, schmelzen die Kerne.

Im Gegensatz zu reinen Metallen umfasst die Kristallisation von Legierungen mehrere Prozesse:

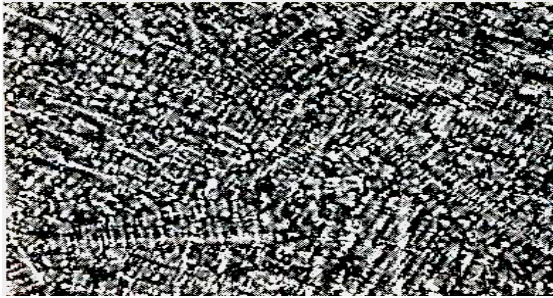
- aus einer homogenen Schmelze können mehrere Phasen kristallisieren,
- Die Kristallisation findet in einem bestimmten Temperaturbereich statt,
- Kristallisationsphase hat eine andere Zusammensetzung als die ursprüngliche homogene Phase.

Während der Kristallisation treten strukturelle Veränderungen auf, und es entstehen neue Phasen....

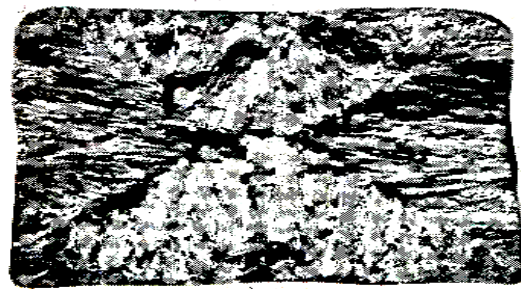
Phase - es ist ein homogener Teil eines Systems, das durch eine Oberflächenschnittstelle von anderen Teilen getrennt ist und die gleichen Eigenschaften, Strukturen und chemischen Zusammensetzungen aufweist (z.B. ist die Mischung aus Getreide und Mohn ein System als Ganzes, Mohn ist eine Phase, Getreide eine andere Phase). Die Phase kann eine homogene Substanz oder Dispersion sein.

Dispersion - es ist ein System, das mindestens zwei Arten von Stoffen enthält, wenn eine Substanz in der anderen dispergiert ist. Es handelt sich um ein heterogenes System von zwei oder mehr Phasen.

Während der Kristallisation findet eine Trans - Kristallisation statt - Bildung von Dendriten - baumartige Kristalle, Kristallisationsachsen (Abbildung 6.12a), Lunker, Mikrolunker (zwischen den Kristallen, wirken wie eine Kerbe Abbildung 6.12b).



a



b

Abbildung 6.12 Dendriten in Stahlguss - a, Kristallite in der Legierung Fe-Ni - b

7. Grundgrößen der plastischen Verformung

7.1. Grenzzustände der Materialien

In den meisten Bereichen des Maschinenbaus haben sich die technischen Parameter von Maschinen und Geräten in den letzten Jahrzehnten erhöht (z.B. Arbeitsdruck, Temperatur, Drehzahl, Leistung, etc.), während ihr Gewicht pro Leistungseinheit abgenommen hat.

Grenzzustand – Definition

- Der Grenzzustand ist ein Materialzustand, wenn das Material seine Funktions- und Gebrauchseigenschaften durch die Wirkung der äußeren oder inneren Faktoren oder durch die kombinierte Wirkung der äußeren oder inneren Faktoren verliert, wenn sich die Funktions- und Gebrauchseigenschaften auf einem bestimmten Niveau ändern.
- Sprungwechsel im Materialzustand.

Die zweite Definition beschreibt den Grenzzustand als Verlust von Gebrauchseigenschaften und beinhaltet auch die Phänomene, die die funktionellen Eigenschaften der gegebenen Struktur nicht beeinflussen müssen, wie z.B. den Übergang vom ferromagnetischen in den paramagnetischen Zustand (Curie-Temperatur), polymorphe Transformationen, etc.

- Der Grenzzustand ist ein Zustand des Systems, der durch Bedingungen (Parameter) der Systemaktivität ausgedrückt wird, die bei Überschreitung einen vorübergehenden oder dauerhaften Ausfall der Systemfunktion verursachen. Der Systemgrenzzustand liegt zwischen dem Normal- und dem Fehlerzustand.
- Die dritte Definition definiert den Grenzzustand als Ort einer Schrittschnittstelle zwischen zwei Zuständen - anwendbar und nicht anwendbar.

Das Erreichen des Grenzzustandes hängt von der Dynamik der Schadensakkumulation ab, die eine Funktion eines substrukturellen und strukturellen Zustandes des Materials, der technologischen Eigenschaften der Produktion und der Konstruktionsbedingungen für die Verwendung eines Körpers ist, abhängig von der Größe und Art der Belastung, der Reaktion des Materials auf die Last und vor allem vom Zeitpunkt der Wirkung der Faktoren, die (einzeln oder gemeinsam) den Grenzzustand verursachen können.

- **Der Grad der materiellen Schäden** ist gekennzeichnet durch das Niveau der inneren Energie, vor allem an den Punkten ihrer Konzentration, oder durch den Anteil der Bereiche mit betroffener materieller Kohäsion aufgrund der Wirkung von externen oder internen Limit-Zustand-Faktoren.

- **Plastische Verformung** ist die Fähigkeit des Materials, seine Form und Abmessungen durch Einwirkung einer ausreichenden Belastung zu verändern, ohne seine Kristallstruktur zu verändern....
- **Lokale Materialschäden** sind irreversible Kohäsionsverluste, die in Volumen und Fläche begrenzt sind, was zu einer Trennung einer bestimmten Materialmenge, der Bildung eines oder mehrerer Risse oder einer Schicht mit anderen Gebrauchseigenschaften als der andere Teil des Materials führt.
- **Rissbildung** ist ein irreversibler Verlust der Kohäsion der Materialpartikel in einem Teil oder im gesamten Querschnitt.

Faktoren, die den Grenzzustand beeinflussen

- Struktur und Unterstruktur - Morphologie der einzelnen Phasen, Ausfällungen, Segregationen
- Produktionstechnologie - Eigenspannung nach der Umformung, Schweißnähte, Fehler
- Betriebsbedingungen (Umgebung) - Betriebsatmosphäre, Schmierung, Umdrehungen, Betriebsdauer
- Größe und Art der Beanspruchung - Größe, Richtung, statische Beanspruchung, Schlagbelastung
- Chemische Zusammensetzung
- Spannungsgeschwindigkeit - plastisches Instabilitätsphänomen
- Korrosion
- Zeit - Stressgeschichte
- Temperatur
- Multi-Faktor-Überlagerung

7.2. Klassifizierung von Grenzzuständen

Letzter Grenzzustand:

- **Verformung - Überschreitung der Spannungsgrenze**

Elastische Grenze,

- Übermäßige elastische Verformung (mikroplastische Verformung, makroplastische Verformung),
- Beschädigte elastische Stabilität,
- Verminderung der elastischen Verformung (Relaxation),

Plastische Verformungsgrenze

- Übermäßige plastische Verformung (kritisch)
- Beschädigte Kunststoffstabilität

- **Grenzzustand des Schadens (Rissbildung).**

Überlastung:

- zerbrechlich,
- formbar,

- Kriechverformung,
- Auswirkungen,
- Wärmeschockverformung,
- Korrosion,
- festgefahren,
- vorzeitig

Tragen,

- mechanisch $\varepsilon=f(\sigma)$,
- thermal $\varepsilon=f(T)$,
- thermomechanisch $\varepsilon=f(T, \sigma)$,
- creep $\varepsilon=f(T, \sigma, t)$.

- **Lokaler Schaden:**

Von Volumen durch:

- Wasserstoff,
- Interkristalline Korrosion,
- Flüssigmetall,
- Schweißen,
- Strahlung,
- Schwellung,
- Energiefelder

Von der Oberfläche durch:

- Haftung,
- Abrieb,
- Erosion,
- Kavitation,
- Kontakt,
- Vibration,
- Korrosion,
- Hitze,
- Extraktion,
- Energiestrahlen.

- **Zustände der Gebrauchstauglichkeitsgrenzen:**

- Übermäßige Auslenkung.
- Größe des dynamischen Verhaltens.
- Verlust der Stabilität der Position.
- Vibrationen, Geräusche

7.3. Spannungsrisskorrosion

Es ist eine der Formen der Korrosion, die durch die gleichzeitige Einwirkung von Korrosion und Spannung verursacht wird (Tabelle 7.1). Die Korrosionswirkung ist in einem solchen Fall intensiver als unter der Bedingung einer getrennten Wirkung beider Faktoren. Korrosionsrisse treten auf, wenn die folgenden drei Bedingungen erfüllt sind:

- korrosive Umgebung,
- rissanfälliges Material,
- Vorhandensein einer bestimmten Zugspannungskomponente.

Die Rissanfälligkeit wird durch metallurgische (chemische Zusammensetzung des Metalls, Eigenspannung, Verformungsgrad, Vorhandensein von Inhomogenität) und elektrochemische Faktoren (elektrochemisches Potenzial, Passivierbarkeit der Metalle, Charakter der korrosiven Umgebung) beeinflusst.

Korrosionsrisse (siehe Abbildungen 7.3 und 7.4) können interkristallin oder transkristallin sein. Beim Korrosionsriss werden die Risse oft durch vorhandene Oberflächenfehler wie Nuten oder Rillen nach der Bearbeitung oder scharfe Kanten ausgelöst.

Tabelle 7.1 Kombination von Metallen und Umgebung, in der Korrosionsrisse auftreten.

Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Zn	meerwasser
Cu-Al, Cu-Zn-Ni, Cu-Sn	Ammoniak
Kohlenstoffstahl	Heiße Lösungen von Nitraten, Carbonaten und Hydroxiden
austenitischer rostfreier Stahl	Konzentrierte heiße Chloridlösungen, chlorhaltige Dämpfe
Titan und seine Legierungen	10% HCl
Nickel und seine Legierungen	Lösungen von NaOH und KOH bei 130°C



Abbildung 7.3 Korrosionsrissebildung

Legende: korózne trhliny - Korrosionsrisse, korodujúci Material - korrodierendes Material

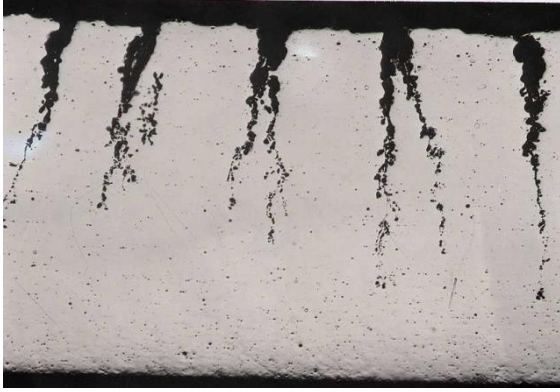


Abbildung 7.4 Mikrofotografie von Korrosionsrissen

Durch die Veränderung des chemischen und mechanischen Abbaus kommt es zu einem Sprungwachstum der Rissbildung. Die chemische Reaktion an der Vorderseite des Risses beschleunigt seine Ausbreitung und die Spannungsakkumulation an der Vorderseite des Risses erhöht die Reaktionsfähigkeit dieses Ortes. Daraus ergibt sich die Synergie der beiden aktiven Prozesse.

7.4. Vorbeugung

- Untersuchung des Materials und seiner Reaktionen auf verschiedene Strukturelemente und technologische Prozesse - Einfluss von Schweißnähten, Kerben, Schwingungen, Spannungen, energetischer Verarbeitung etc.
- Die Wahl des richtigen Materials - die richtige Kombination von Materialeigenschaften für die jeweilige Belastung und Umgebung.
- Verbesserung der Konstruktionslösungen und der Stressbestimmungsprozesse an einzelnen Stellen der Struktur.
- Verfolgen Sie die technologischen Produktionsprozesse.
- Korrekte Installation.
- Korrekte Funktion - Schmierung, Temperatur, keine Überlastung.
- Wartung und regelmäßige Inspektion von Geräten, Konstruktionen oder Systemen - Rissprüfung (Flugzeuge, Brücken)
- Von Herstellern geprüfte Produkte
- Zerstörungsfreie Prüfung - Prüfung der hergestellten Komponenten vor dem Einsatz im Betrieb und während des Betriebs, z.B. Inspektion von Rohren, Schaufeln von Flugzeugtriebwerken, Hohlräumen in Schweißnähten, etc.
- Aus Fehlern der Vergangenheit lernen - die Ursachen von Arbeitsunfällen finden und Maßnahmen ergreifen, um ähnliche Probleme in der Zukunft zu vermeiden.

8. Einfluss der Temperatur auf die plastischen Eigenschaften des Materials

8.1. Technologische Eigenschaften von Materialien

- **Formbarkeit** - Fähigkeit des Materials, seine Form durch Einwirkung äußerer Kräfte zu verändern, ohne die Integrität zu beeinträchtigen.
- **Schweißbarkeit** - es ist die Materialfähigkeit, eine Schweißverbindung in der gewünschten Qualität herzustellen.
- **Gießbarkeit** - Satz von Eigenschaften, die das gießfähige Material charakterisieren.
- **Zerspanbarkeit** - eine Reihe von Eigenschaften, die sich auf die Leichtigkeit und die Ergebnisse der Bearbeitung des Ausgangsmaterials beziehen.

8.2. Spannung

Definition: das Verhältnis von Kraft und Querschnitt

Die Spannung entsteht im Querschnitt durch die Einwirkung von Außenkräften auf den Körper (Bild 8.1).

$$\delta = \frac{F}{S_0} = \left[\frac{N}{mm^2} \right] [Mpa]$$

$$F_N = F \cdot \cos \alpha \qquad F_S = F \cdot \sin \alpha$$

$$\delta = \frac{F_N}{S_1} \qquad \tau = \frac{F_S}{S_1}$$

Wo:

F_N - Normalkomponente

F_S - Scherkomponente

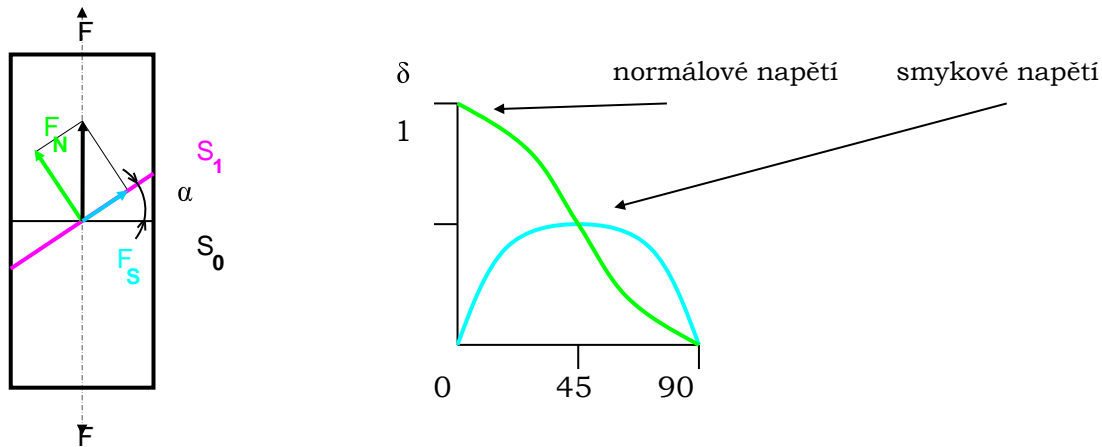


Abbildung 8.1 Entstehung und Verlauf der Spannung

8.3. Einwirkung von äußeren Kräften - Definition der Festigkeit

Festigkeit - die Fähigkeit des Materials, die Last zu tragen. Die Bruchfestigkeit ist die Spannung, unter der das Material beschädigt wird - getrennt in zwei Teile.

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [Mpa]} \quad (8.2)$$

8.4. Elastische und plastische (dauerhafte) Verformung von Metallen

Verformung - Form- und Maßänderung durch Einwirkung von Außenkräften (Bild 8.2)

Elastische Verformung

- Das Material kehrt in seine ursprüngliche Form zurück, nachdem die äußere Last nicht mehr wirkt.
- Sie tritt auf, wenn die Atome durch die Einwirkung äußerer Kräfte im Kristallgitter von ihren Gleichgewichtspunkten um einen Abstand von weniger als der Hälfte

des Gitterparameters abweichen. Nach dem Entfernen der Last kehren die Atome in ihre Ausgangsposition zurück.

Plastische (permanente) Verformung

- Wenn die äußere Last nicht mehr wirkt, gibt es noch eine gewisse Verformung in Abhängigkeit von der Größe der Belastungskraft.
- Sie tritt auf, wenn die Atome um einen größeren Abstand als der Gitterparameter aus ihrer Gleichgewichtsposition abgelenkt werden, wodurch sie nach dem Entfernen der Last nicht in ihre Ausgangsposition zurückkehren können.

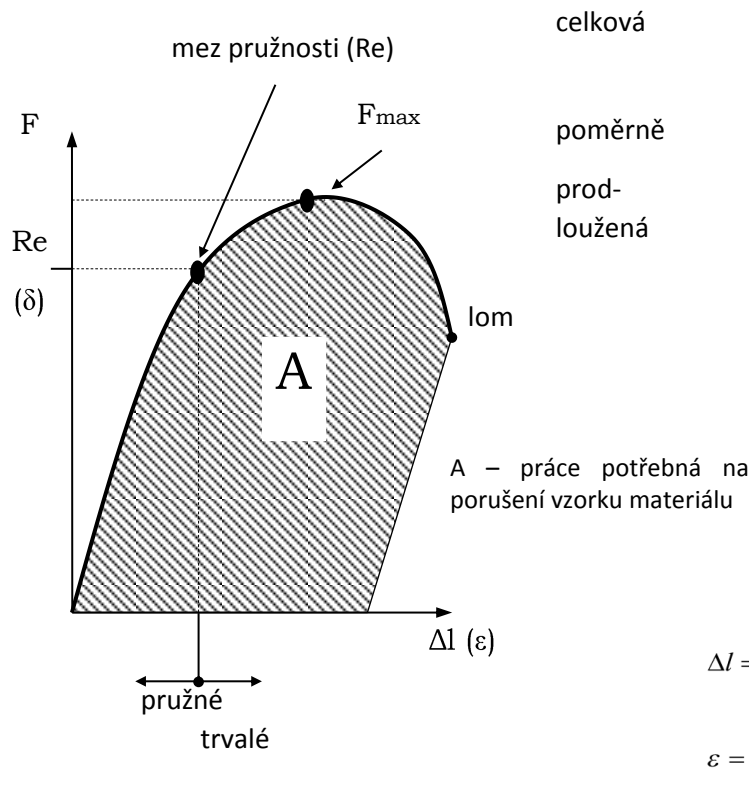


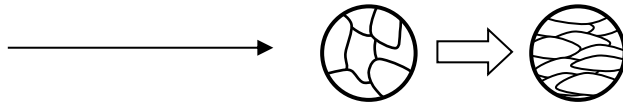
Abbildung 8.2 Elastische und plastische Verformung

Mechanismus der plastischen Verformung:

- Durch Rutschen (Rutschebene, Rutschrichtung)
- Durch Zwillingsmontage

8.5. Auswirkungen von plastischen Verformungen

- Materialverstärkung
- Bildung der Verformungstextur
- Anisotropie der mechanischen Eigenschaften
- Erhöhung der Fehlerzahl



Beseitigung von Auswirkungen plastischer Verformungen

- Durch Erwärmung des Materials: Basierend auf der Materialtemperatur sprechen wir von einer Gitterrückgewinnung. Ergebnis: Teilweise Wiederherstellung der Eigenschaften, Abbau von Spannungen.

Erwärmen auf die Temperatur $T < T_{recr}$. $T_{recr} = 0,35 - 0,4 T_{tav}$ (8.3)

- Durch Rekristallisation

Erwärmen auf die Temperatur $T > T_{recr}$.

Diese Effekte werden durch Rekristallisationsglühen beseitigt. Die Rekristallisationsverformung von Körnern zu unverformten Körnern beseitigt die Auswirkungen der plastischen Verformung vollständig.

Die Warmumformung erfolgt in fester Lösung γ (Austenit), da sie ein Gitter K12 aufweist, das sich durch eine gute Umformbarkeit auszeichnet. Ist die Anfangstemperatur der Umformung hoch, reduziert sie die Austenitfestigkeit bei intensiver Rekristallisation von verformten austenitischen Körnern. Um eine bestimmte Verformung zu erreichen, ist eine geringere Energiemenge erforderlich als bei niedrigeren Temperaturen. Die Umformtemperatur ist jedoch auf 100 - 200°C unter der Solidustemperatur begrenzt, um eine Kornverdickung oder "Verbrennung" des Stahls zu vermeiden. Die Umformung muss bei subeutektoiden Stählen auf die Temperatur von A_{r3} und bei supereutektoiden Stählen auf A_{r1} abgeschlossen sein. Bei den Temperaturen von A_{r3} oder A_{r1} überwiegt der Verformungsprozess gegenüber dem Rekristallisationsprozess; nach dem Abkühlen bilden die Umformtemperaturen eine feinkörnige Struktur. Bei supereutektoiden Stählen bewirkt das Umformen (bei den Temperaturen zwischen A_{rcm} und A_{r1}) das Schleifen des sekundären Zementitgitters und erhöht damit die Verformungseigenschaften (Duktilität, Kontraktion) dieser Legierung. Für die Umformtemperaturen siehe Abbildung

8.3.

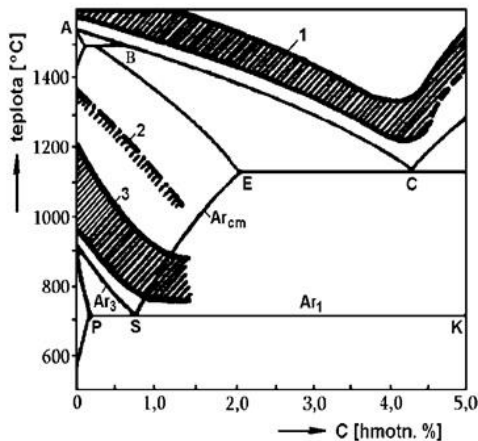


Abb. 8.3 Charakteristische Temperaturen im Fe - C - Diagramm

1) Gießtemperaturen, 2) obere Schmiedetemperaturen, 3) Umformtemperaturen

Wärmebehandlung. Das Fe-C-Diagramm ist besonders wichtig für die Prozesse der Wärmebehandlung, die es ermöglichen, die Materialeigenschaften in einem größeren Bereich zu verändern. Gemäß den kritischen Temperaturen von A_1 , A_3 , A_m werden Glühen, Abschrecken und Temperaturen von Phasenänderungen bestimmt. Das Diagramm ermöglicht es auch, die resultierenden Strukturen nach der Wärmebehandlung zu bestimmen.

Die oben genannten Beispiele sowie weitere Anwendungen wie die Auswahl der Temperaturen für die einzelnen Arten der chemischen und thermischen Behandlung, der thermisch-mechanischen Behandlung usw. zeigen, dass die Fe-C-Gleichgewichtsdiagramme sehr wertvolle Informationen zur Erreichung optimaler Eigenschaften von Fe-C-Legierungen liefern.

9. Klassifizierung der technologischen Umformprozesse

Das Umformen ist ein technologischer Prozess, bei dem die Form des Ausgangsmaterials durch ein Formwerkzeug ohne Spanabnahme verändert wird. Die Umformung ist eine fortschrittliche Produktionstechnologie. Die Progressivität der Umformung besteht hauptsächlich in einem reduzierten Verbrauch von Ausgangsmaterial für die Herstellung der Komponenten oder der Struktur, in der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials in kurzer Zeit, in hoher Produktivität, in der Möglichkeit, Teile für das Endprodukt herzustellen, und in der vollständigen Automatisierung der zusätzlichen Operationen und Aktionen.

Rohling ist ein durch Umformen hergestelltes Produkt, unabhängig von der Art des Umformvorgangs.

Je nach Art, Form des Ausgangsmaterials und Querschnittsänderung (Dicke) wird die Umformung in **Blech- und Massenumformung unterteilt**.

- Die Blechumformung ist ein Prozess, bei dem die erforderliche Änderung ohne wesentliche Änderung der Dicke des Ausgangsmaterials (meist Weißblech) erreicht wird.
- Die Schüttgutumformung ist ein Prozess, bei dem die erforderliche Formänderung durch Änderung des Querschnitts (der Dicke) des Ausgangsmaterials erreicht wird.

Technologische Umformprozesse können klassifiziert werden durch:

- Verwendete Temperatur
- Thermischer Effekt
- Erreichter Verformungsgrad

Klassifizierung der Umformung nach verwendeter Temperatur:

Bei der Umformung verändern sich die plastischen Eigenschaften von Reinmetallen und Legierungen durch Temperatureinwirkung, d.h. ihre Beständigkeit gegen die dauerhafte Formänderung. Bei hohen Temperaturen werden die plastischen Eigenschaften der meisten Metalle und ihrer Legierungen verbessert.

Die plastische Verformung, die bei technologischen Kaltumformprozessen auftritt, bewirkt eine Veränderung der mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften von Metall. Die mit diesen Veränderungen verbundenen Phänomene werden allgemein als Verstärkung bezeichnet. Je nachdem, ob die Umformung bei Temperaturen über oder unter der Rekristallisationstemperatur stattfindet, lassen sich technologische

Umformprozesse unterteilen:

- Kaltumformung
- Warmumformung

Unter **Kaltumformung** versteht man eine technologische Materialbearbeitung, bei der die Materialtemperatur unter der Rekristallisationstemperatur liegt. Das bedeutet, dass die durch die Umformung verursachte Verstärkung des Materials weitgehend erhalten bleibt. Die Kaltverformung erfolgt bei Temperaturen unter $T \leq 0,3 T_{tav}$, wobei die Temperaturen in K angegeben sind.

Die Kaltumformung wird hauptsächlich eingesetzt:

- Erzielung einer glänzenden und glatten Oberfläche des Produkts, wie z.B. beim Walzen von Blechen, Bändern, Draht- und Stangenzug usw.
- Erreichen der genauen Abmessungen des Produkts (Extrudieren, Drahtziehen, Tiefziehen, etc.).
- Erhöhung der Festigkeit und Härte des geformten Materials
- Für nicht rekristallisierbare Legierungen
- Für die Materialien, bei denen eine Warmumformung nicht möglich ist, da die Oberfläche des Materials so groß ist, dass es aufgrund seines geringen Querschnitts schnell abkühlt.
- Für die kostengünstige und schnelle Herstellung von Bauteilen in zufriedenstellender Qualität.

Die **Kaltverformung** erhöht die Festigkeit und Härte des Materials und reduziert gleichzeitig seine Duktilität, was ein Beweis für die Materialplastizität ist. Dies führt zu Strukturverformung und Anisotropie der mechanischen Eigenschaften.

Unter **Warmumformung** versteht man das Umformen bei Temperaturen, bei denen die Rekristallisation so schnell erfolgt, dass die durch den Umformprozess verursachte Verfestigung während oder unmittelbar nach dem Umformen verschwindet. Die Warmumformung erfolgt bei Temperaturen, die über der Rekristallisationstemperatur liegen. Warmumformprozesse umfassen die Prozesse, die bei Temperaturen über $0,7 T_{tav}$ auftreten.

Beim Warmumformen laufen zwei Prozesse gleichzeitig ab: Zerstörung (Verformung) und Rekristallisation.

Klassifizierung der Umformung durch thermische Einwirkung

Abhängig von der Wärmemenge, die zur Erhöhung der Temperatur des geformten Metalls genutzt wird, lassen sich Umformprozesse unterteilen:

- **isotherm** - die erzeugte Wärme befindet sich in der Umgebung, die Temperatur

des Rohlings ändert sich nicht.

- **adiabatisch** - die gesamte erzeugte Wärme bleibt im gebildeten Metall, seine Temperatur steigt.
- **polytrop** - die erzeugte Wärme befindet sich teilweise in der Umgebung und bleibt teilweise im gebildeten Metall. Diese Art von Prozessen ist in der Praxis die häufigste.

Klassifizierung der Umformung durch die Verformung:

Durch das Verhältnis zwischen der freien Oberfläche des geformten Materials und dem werkzeugberührenden Material lassen sich die technologischen Umformprozesse in drei Gruppen einteilen:

- die freie Oberfläche ist größer als die Oberfläche, die mit dem Werkzeug in Berührung kommt (Freiformschmieden).
- die freie Oberfläche des geformten Materials ist ungefähr gleich groß wie das Material in Kontakt mit dem Werkzeug (Schmieden in offenen Matrizen).
- die freie Oberfläche des geformten Materials kleiner ist als die Oberfläche in Kontakt mit dem Werkzeug (Schmieden im geschlossenen Gesenkschmieden, Extrusion).

9.1. Scheren - Klassifizierung und Prinzip

Das Scheren ist einer der am häufigsten verwendeten Arbeitsschritte im Maschinenbau, sei es bei der Herstellung von Halbzeugen zur Herstellung von Fertigrohlingen oder als Hilfsoperation bei der Herstellung von Maschinenbauerzeugnissen. Das Scheren ist ein Vorgang, bei dem ein Teil des Materials schrittweise oder unmittelbar durch ein Scherwerkzeug getrennt wird.

Zu den grundlegenden Scheroperationen gehören:

- Stanzen (Löcher machen)
- Beschnitt (Trennung von unnötigem Material)
- Ausschneiden (Ausschneiden eines Teils des Materials)
- Überschneidung (Teilweiser Verschnitt des Materials)
- Stechhilfe (Teilschnitt des Materials)
- Rasur (um präzisere Formen zu erreichen)
- Feinschneiden (Feinschneiden)
- eintauchend

Scheren in Scherwerkzeugen:

Es ist die am weitesten verbreitete Methode zur Herstellung von Rohlingen. Zu den Grundoperationen gehören das Stanzen und Stanzes.

Die Schermatrize ist ein Stanzwerkzeug - Werkzeug zur Herstellung von Rohlingen einer bestimmten Form und Abmessung (Bild 9.1).

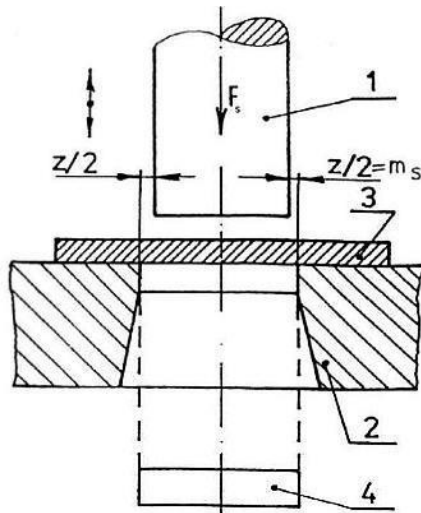


Abbildung 1 Scherwerkzeug, z - Scherspalt, m_s - Klingenspalt, 1. Scherstempel, 2. Scherwerkzeug, 3. geschertes Material (Blechband), 4. geschertes Material (blank)

Der Prozess des Scherprozesses kann in drei grundlegende Phasen unterteilt werden:

- **Elastische Verformung** - zu Beginn der Einwirkung des Stanzwerkzeugs auf das Material tritt eine elastische Verformung im Material auf, bis die Spannung an der Scherstellen die Streckgrenze R_e erreicht. Diese Stufe beträgt 5 - 10 % der Materialstärke.
- **Plastische Verformung** - nach Überschreitung der maximalen Streckgrenze an der Scherstellen wird die Spannung bis zur maximalen Scherfestigkeit erhöht. Diese Stufe ist die 10 - 25 % der Materialstärke.
- **Bruch** - wenn die Scherfestigkeit überschritten wird, entstehen mikroskopische und makroskopische Risse im Material, die zur Trennung der Materialteile führen.

Die Scherung kann heiß oder kalt sein. Das Kaltscheren wird für weiche Materialien und Bleche eingesetzt. Das Warmscheren wird für stärkere Materialien mit höherer Dicke eingesetzt. Das Scheren kann mit: parallelen Messern, schrägen Messern, Kreismessern oder in Schermatrizen durchgeführt werden.

Scherwerkzeuge:

einfache Schermatrix (Abbildung 3)

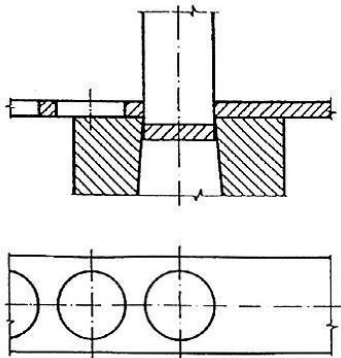


Abbildung 3 Einfache Schermatrix

kombinierte Schermatrix (Abbildung 4)

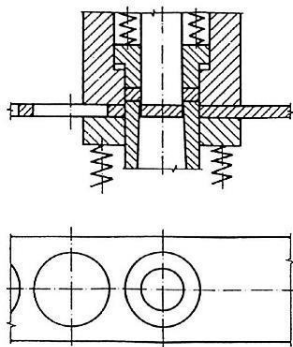


Abbildung 4 Kombinierte Schermatrix

Folgeverbundwerkzeug (Abbildung 5)

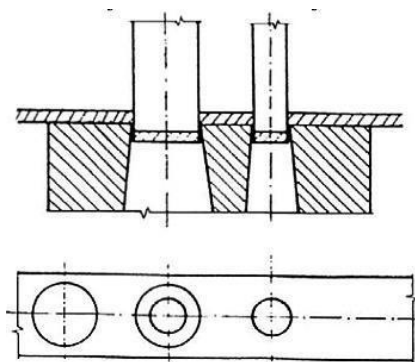


Abbildung 5 Folgeverbundwerkzeug

Verbundwerkzeug (Abbildung 6)

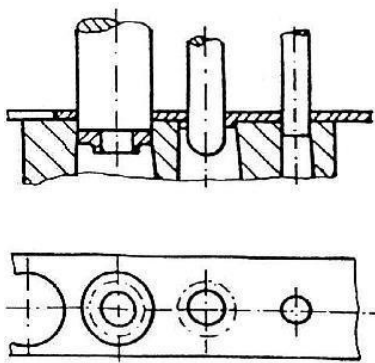


Abbildung 6 Verbund-Scherwerkzeug

9.2. Biegen - Klassifizierung und Prinzip

Das Biegen ist ein technologischer Prozess, bei dem die Form eines Halbzeugs durch die Einwirkung des durch ein Kräftepaar verursachten Biegemoments dauerhaft verändert wird. Das Biegen ist ein Verfahren, bei dem die gewünschte Form ohne wesentliche Änderung des Materialquerschnitts vorliegt und daher in die Blechumformung einbezogen wird.

Das Ausgangsmaterial sind Platten, Stäbe, Profile.

Die Bewegung wird von einer Verstärkung des Materials begleitet, die seine Festigkeits-eigenschaften und damit auch die Eigenschaften des Biegeteils verändert. Dies führt zu einer Gewichtsreduzierung der Maschineneinheiten.

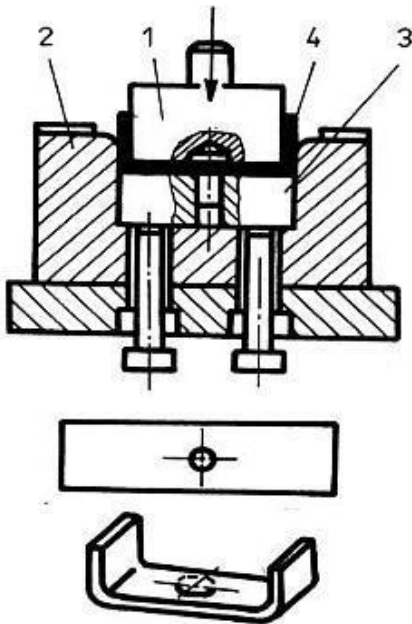
Abhängig von der Bewegung des Werkzeugs zum Material kann das Biegen in zwei Grundgruppen unterteilt werden:

- **Biegen auf der Biegepresse** - das Material wird in einer Biegeform, einer Biege-maschine, gebogen, deren beweglicher Teil lineare Bewegungen ausführt.
- **Biegen auf Biegerollen** - als Werkzeug werden die Rollen verwendet, die eine Drehbewegung ausführen.

9.2.1. Biegen auf Biegepressen

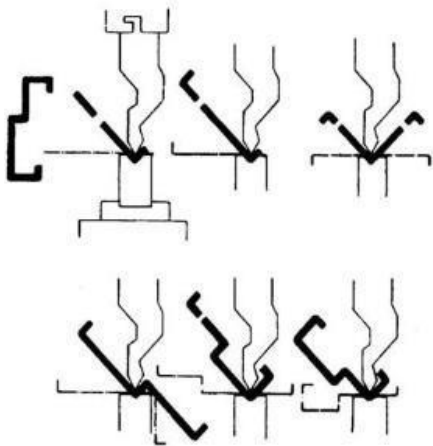
Biegen - die Richtung der Bewegung des beweglichen Teils ist die gleiche wie die Rich-

tung der Achse des Winkels, der durch die Schulter des gebogenen Objekts gebildet wird, die Biegelinie ist normalerweise kürzer als die Biegeschulter - Abbildung 7.



Stempel, 2. Matrize, 3. Auswerfer, 4. Biegepresse

Bremsbiegen - der Prozess der Herstellung verschiedener Profile durch progressives Biegen. Die Biegelinie ist in der Regel länger als die Biegeschultern - Abbildung 8.



Walzenbiegen - es wird Druck auf das Material ausgeübt, was zu einer Bewegung des Blechs auf der gekrümmten Oberfläche der starren Backe führt. Die resultierende Form kann somit mit verschiedenen Werkzeugen mit unterschiedlicher Wirkung auf das Material erreicht werden - Abbildung 9.

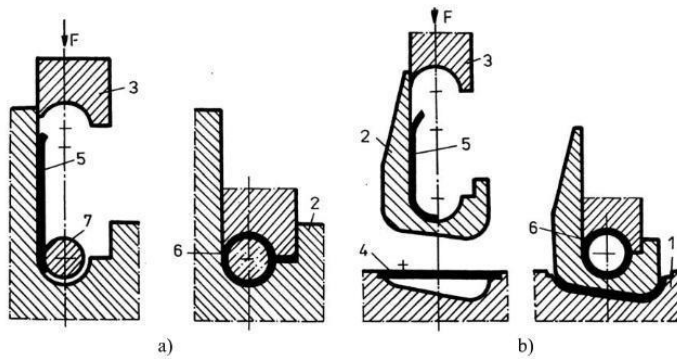


Abbildung 9 Walzenbiegen

1,2 - Matrize, 3 - Stempel, 4,5,6, - gebogenes Pressen, 7 - Dorn

Eindeckrahmen - wird zur Verstärkung der Kanten der Presse oder zur Vorbereitung einer Verbindung verwendet.

Kleben - Einwirken auf vorgeformte gebogene Flansche erzeugt eine starre Verbindung.

9.2.2. Biegen auf Rollen

Bei dieser Art von Biegen ändert sich der Punkt der plastischen Verformung allmählich. Anhand der Position der Biegeebene zu den Walzenachsen unterscheiden wir die folgenden Verfahren (siehe Abbildungen 10 und 11):

- **Querwalzen** - die Biegeebene liegt senkrecht zur Walzenachse.
- **Längswalzen** - die Biegeebene durchläuft die Achsen von zwei Walzen mit einem bestimmten Profil.

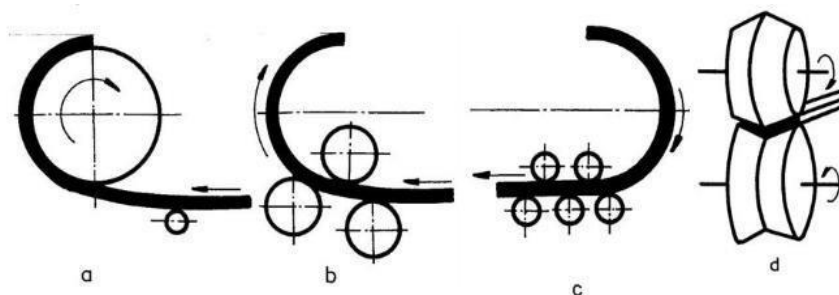


Abbildung 10 Walzenbiegen

a - Wickeln, b - Walzenbiegen, c - Richten, d - Längswalzen

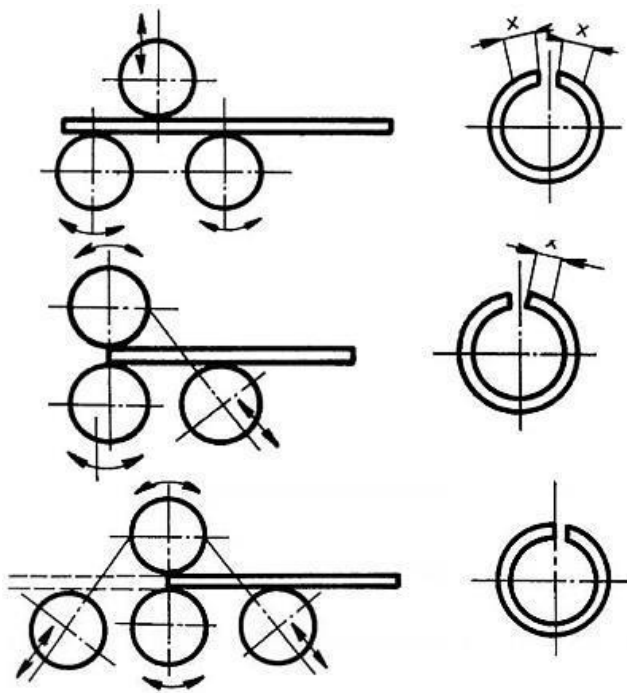


Bild 11 Walzenbiegemaschinen

Dreirollen symmetrisch, 2. Dreirollen asymmetrisch, 3. Vierrollen symmetrisch, 3.

9.3. Zeichnung - Klassifizierung und Prinzip

Das Zeichnen ist ein technologischer Prozess, bei dem aus einem Blech ein räumlicher (Hohl-)Körper einer einfachen oder komplexen Form erzeugt wird. Das nach der Zeichnung hergestellte Produkt wird als gezogenes Produkt bezeichnet. Das gezogene Produkt kann für einen oder mehrere Arbeitsgänge (je nach Größe und Form) hergestellt werden. Die Verformung eines planaren Objekts in einen Hohlkörper erfolgt in Ziehmaschinen / Ziehwerkzeug, bestehend aus Ziehstempel, Ziehmatrize, Rohling (Abbildung 12).

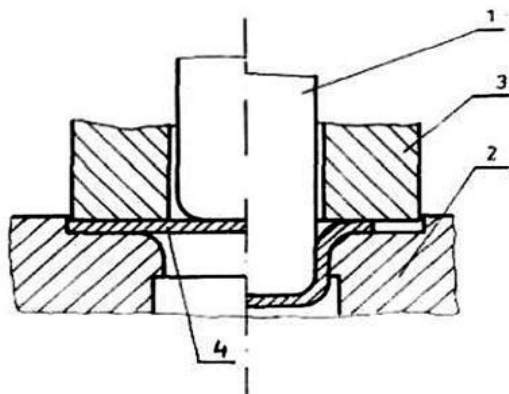


Abb. 12 Zeichenmaschine

1. Ziehstempel, 2. Ziehmatrize, 3. Blechhalter, 4. gezogenes Blech

Das Ziehen ist ein häufig angewandtes technologisches Verfahren zur Herstellung von Bauteilen mit komplexer Form, starr, mit minimalem Gewicht. Es ist ein sehr produktiver Prozess.

Das Ziehen wird zur Herstellung von Komponenten verwendet, die in allen Bereichen des menschlichen Lebens verwendet werden, z.B. Küchenbehälter aus Metall, Verpackungen für Kühlschränke, Waschmaschinen, Öfen. In der Automobilindustrie wird es für die Herstellung aller Passagiere und Karosserieteile verwendet. Die Zeichnung als technologische Operation wird für die Herstellung von Teilen von Flugzeugen, Schiffen, Spielzeug, Lebensmittelindustrie, Elektrotechnik usw. verwendet.

Ziehmaschinen haben ein spezifisches Design. Gezogenes Blech muss gehalten werden, daher muss die Maschine über zwei Führungsblöcke verfügen - Zeichnen und Halten.

Klassifizierung der Zeichnung

- gewöhnliche Zeichnung
- Dünnwand-Zeichnung
- Umkehrziehen
- Sicken (Erhöhung der Steifigkeit des Objekts durch Zeichnen flacher Vertiefungen)
- Dehnen (Naben bilden oder zylindrische Wände für Gewinde)
- Erweiterung (Vergrößerung des Umfangs)
- Einschnürung (Reduzierung des Umfangs)
- Strecken mit einem Ziehwerkzeug (Formen einfacher Produkte größerer Abmessungen aus Blech, das an den Enden eingespannt ist. Das Blech wird durch die Bewegung eines Stempels gedehnt).

9.4. Spinnen und Extrudieren - Klassifizierung und Prinzip

Das Spinnen, manchmal auch Metallspinnen oder Drehen genannt, ist ein Umformprozess, bei dem sich ein Blech um die Drehachse dreht und durch Einwirkung des Spinnwerkzeugs von der Mitte zum Rand des rotierenden Halbzeugs bewegt wird. Das Produkt wird als Druckguss bezeichnet. Das Metalldrücken ist eine kombinierte Biegung mit Verformung unter Rotation. Das Biegen unter Rotation mit zusätzlichem Druck auf ein kleines Volumen erzeugt eine lokale plastische Verformung und erhöht die Verformbarkeit.

Obwohl das Tiefziehen ein anspruchsvolles Verfahren ist, ist das Spinnen aufgrund seiner Vorteile und Flexibilität ein geeignetes technologisches Produktionsverfahren. Aufgrund der Möglichkeit, in der Serienproduktion eingesetzt zu werden, ist das Spinnen

bei kleinen und mittleren Unternehmen wirtschaftlicher - Abbildung 13.

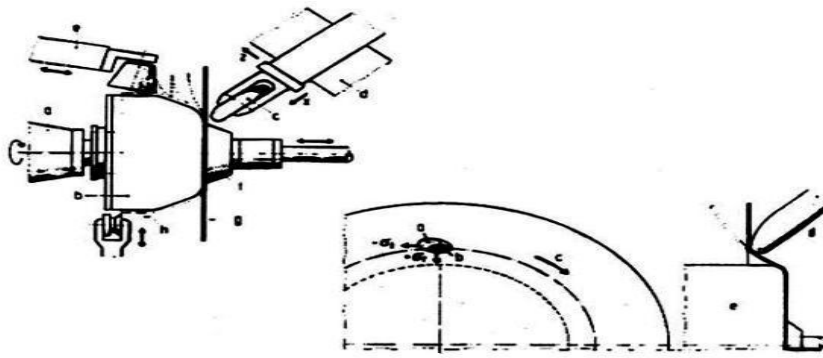


Abbildung 13 Spinnen mit mehr Spinnvorgängen

Die Materialverformung beim Spinnen ergibt sich aus dem Verhältnis von Clipping D_0 zum Innendurchmesser der Presse d und wird berechnet als $K=D_0/d$

Die folgenden Arbeitsschritte werden bei der Herstellung von Containern angewendet:

- **Drehen**, das eine planare Scheibe in einen hohlen Behälter verwandelt. Ein Teil davon ist nur verjüngt oder verbreitert.
- **Dickenreduzierung beim Spinnen**: Das Ausgangshalbfabrikat ist ein gezogenes Produkt oder ein durch Metallspinnvlies hergestelltes Produkt.
- **Walzenpolieren von Fertigprodukten durch Mehroperationszeichnung.**
- **Beschnitt**
- **Flashing** (zur Erhöhung der Steifigkeit) und zur Verstärkung der Kanten beim Pressen.

Die Extrusion ist eine grundlegende Operation der Massenumformung und wird zur Herstellung der komplexesten Formen eingesetzt. Im Maschinenbau wird in der Regel die Kaltfließpresstechnik eingesetzt. Die resultierende Form des Bauteils wird mit einem Werkzeug hergestellt, das aus einer Matrize und einem Stempel besteht.

Die für den auf das Metall wirkenden Extruder erforderliche Formkraft wird durch Strangpressen erzeugt. Das geformte Produkt wird bei einer normalen Temperatur der Umgebung verarbeitet. Dies wird als Kaltextrusion bezeichnet. Während des Extrusionsprozesses wird jedoch durch den hohen Druck bei hoher Geschwindigkeit Wärme im Bauteil erzeugt (bis zu 200°C). Trotz dieser Temperatur, die unter der Rekristallisationstemperatur liegt, wird dies als Kaltumformung bezeichnet. Es erhöht die Härte und Steifigkeit des geformten Metalls, während die Duktilität abnimmt.

Die Extrusion kann zu einer hohen plastischen Verformung führen, ohne die Integrität des Materials zu beeinträchtigen, obwohl die Extrusion unter Spannung mit vorherrschender Druckbelastung erfolgt.

Grundlegende Extrusionsmethoden:

Rückwärtsextrusion

Beim Rückwärtsstrangpressen fließt das Material entgegen der Richtung der Stempelbewegung. Das Halbzeug füllt zunächst den unteren Hohlraum der Matrize. Der Boden ist entweder geschlossen oder mit einem Auswerfer darin. Der Stempel dringt in das Produkt ein und erzeugt einen Hohlraum

mit einer gewünschten Bodendicke. Das überschüssige Material fließt durch den Spalt zwischen einem Stempel und einer Matrize. Die Rückwärtsextrusion wird zur Herstellung von Behältern und Gehäusen (Shells) eingesetzt.

Vorwärtsextrusion

Beim Vorstrangpressen wird das Halbzeug in eine Matrize eingeführt und in Richtung der Stempelbewegung geschoben. Der Stempel schließt die Öffnung in seiner Bewegung in die Matrize und das Material fließt in Richtung der Stempelbewegung. Die resultierende Form des Produkts wird durch die Form der Matrize und die Tiefe, in die der Stempel in die Matrize eindringt, bestimmt. Dieses Verfahren wird zur Herstellung der Produkte mit einem nicht festen Querschnitt verwendet Abbildung 14.

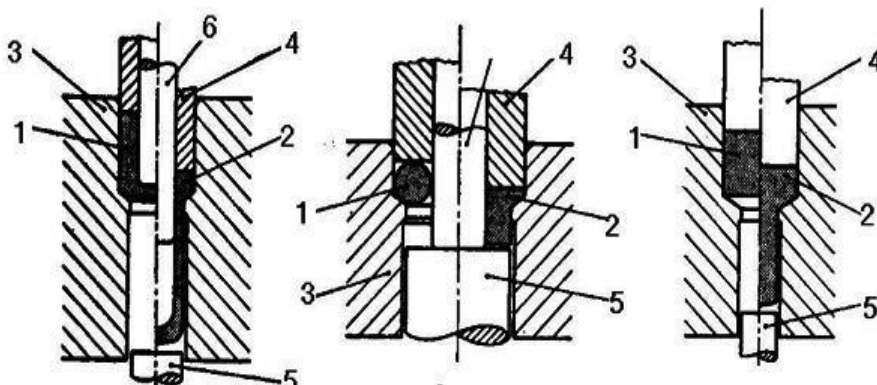


Abbildung 14 Vorwärtsextrusion

Ausgangsprodukt, 2. resultierende Produktform, 3. Matrize, 4. Stempel, 5. Auswerfer, 6. Dorn

Kombinierte Extrusion

Die kombinierte Extrusion ist eine Kombination aus Vorwärts- und Rückwärtsextrusion. Das Material bewegt sich sowohl in als auch entgegen der Bewegungsrichtung des Stempels. Die Verformung an der Unterseite der Matrize muss kleiner sein als im oberen Teil, der vom Stempel extrudiert wird, sonst würde der Boden nicht mit dem Material gefüllt.

Seitenextrusion

Die Seitenextrusion erfolgt in einer geteilten Düse, so dass es möglich ist, das Produkt aus der Düse zu entnehmen. Durch die von Ober- und Unterstempel entwickelte Presse dringt das Material in den Spalt senkrecht zur Wirkrichtung des Stempels ein. Dieses Verfahren wird zur Herstellung der Komponenten mit Vorsprüngen um den Produktumfang verwendet.

Sinken

Das Senken wird zur Herstellung von funktionellen Werkzeugkavitäten verwendet, um den Hohlraum herzustellen und seine Lebensdauer zu erhöhen. Es wird am häufigsten für die Herstellung von Prägewerkzeugen verwendet.

9.5. Freiformschmieden, Gesenkschmieden, Hammerschmieden, Pressenschmieden

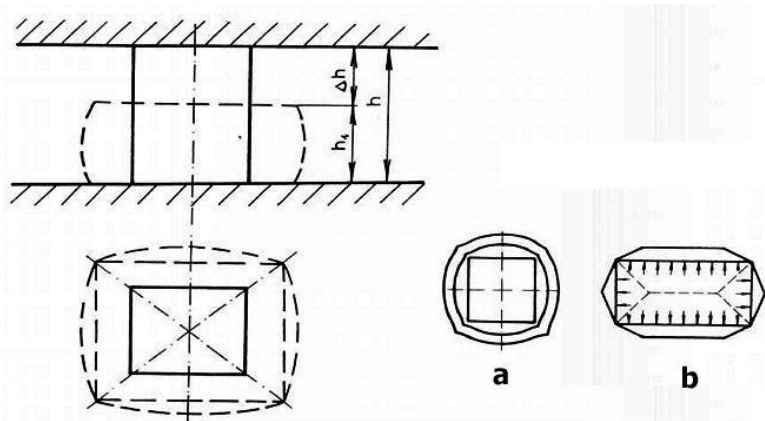
Das Freiformschmieden ist eine technologische Operation, bei der versucht wird, ein Halbzeug zu wechseln, um die erforderlichen Abmessungen und Formen zu erreichen.

Die Freischmiedearbeiten gliedern sich in **Hand- und Maschinenschmieden**. Das manuelle Schmieden erfolgt auf dem Amboss mit handgeschmiedeten Werkzeugen. Das Material wird in einer Schmiede oder in kleineren Öfen erwärmt. Das Handschmieden wird heute kaum noch eingesetzt (nur noch für kleine Reparaturen und künstlerisches Schmieden). Das maschinelle Schmieden erfolgt mit Hämmern oder Pressen.

Für das Freischmieden werden Hämmer verwendet. Für Schmiedeprodukte mit höherem Stößelgewicht werden hydraulische Pressen eingesetzt. Als Halbprodukt wird ein gewalztes Material oder ein Block verwendet.

Der technologische Prozess der Herstellung von Schmiedeteilen durch Freiformschmieden ist sehr variabel und oft sehr komplex. Es umfasst eine Reihe von kombinierten Schmiedeoperationen. Die grundlegenden Freischmiedeoperationen umfassen: Stampfen, Verjüngung, Treten, Offset-Schmieden, Stanzen, Schneiden und Biegen.

Rammen - es bezieht sich auf die Kompression des geformten Materials bei gleichzeitiger Verringerung seiner Höhe und Vergrößerung des Querschnitts senkrecht zur Richtung der Kompression (Abbildung 15).



*Bild 15 Freies Schmieden - Stampfen und Querschnittsänderung beim Stampfen
a - quadratischer Querschnitt, b - rechteckiger Querschnitt*

Verjüngung - es handelt sich um einen Schmiedevorgang, bei dem die Länge des Halbzeugs vergrößert und gleichzeitig der Querschnitt verringert wird.

Schritt - ist ein Schmiedevorgang, bei dem ein plötzlicher Übergang eines Teils des Schmiedens in ein anderes Teil bei gleichzeitiger Änderung des Querschnitts erzeugt wird. Zum Einziehen werden flache oder geformte Stempel verwendet.

Offset-Schmieden - es ist ein Vorgang, bei dem ein Teil des Schmiedens entweder in einer oder zwei Ebenen gegeneinander versetzt wird.

Stanzen - ist ein Schmiedevorgang, bei dem durch das Einpressen eines Dorns in ein Halbzeug ein Loch erzeugt wird. Der Querschnitt des Stempels (Dorns) entspricht der gewünschten Form der Bohrung. Der Stempel kann voll oder hohl sein.

Schneiden - ist ein Schmiedevorgang, der das halbfertige Produkt in zwei Teile trennt oder das überschüssige Material vom Schmieden trennt. Das Schneidwerkzeug (Fräser) wird in das Material gedrückt und bewirkt so eine Trennung des Materials. Der Meißel kann gerade oder geformt sein.

Biegen - beim Freiformschmieden wird das Biegen in Stempeln oder durch Einklemmen des Produkts zwischen den Stempeln durchgeführt und das freie Ende wird mit einem Kran, Hebel oder einer Kette gebogen.

9.5.1. Freischmiedemaschinen

In Industrieanlagen werden am häufigsten Maschinen zum Freischmieden eingesetzt, wie z.B. Drucklufthammer, Dampfhammer und hydraulische Schmiedepressen.

Das Gesenkschmieden zeichnet sich durch einen gerichteten Metallfluss in einem zweiseitigen Gesenkhohlraum aus. Das Ausgangsprodukt wird in den unteren Teil der Matrize eingeführt. Aufgrund der Energie der Umformmaschine bewegt sich ein Matrizenenteil gegen das andere und das Material füllt den Matrizenhohlraum. Wenn der Hohlraum gefüllt ist, wird die Matrize geschlossen und das Material in die gewünschte Form gebracht.

Matrizen für das Schmieden:

- Öffnen Sie mit einem Spalt zwischen dem oberen und unteren Teil in der Trennebene (mit einer Blindnut entlang des Umfangs des Hohlraums).
- Geschlossen ohne Anschlussnut, entspricht das Volumen des Ausgangsmaterials dem Volumen des Schmiedeteils.

Die Füllung des Hohlraums wird durch die Geschwindigkeit der Verformung in Abhängigkeit vom Typ des verwendeten Werkzeugs beeinflusst. Die Schlagwirkung von Hämmer bewirkt eine hohe Geschwindigkeit des Materialflusses in Richtung des Aufpralls und die statische Kraft der Presse bewirkt eine bessere Füllung der Hohlräume in Richtung senkrecht zur Kraft. Diese Unterschiede beeinflussen die Wahl der Umformmaschine und des Schmiedevorgangs für ein bestimmtes Bauteil (Abbildung 16).

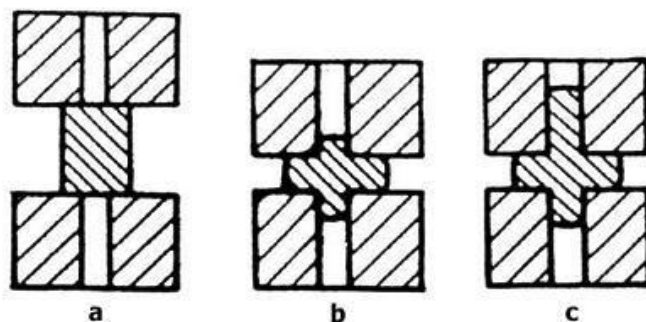


Abbildung 16 Füllen des Matrizenhohlraums
Vor der Umformung b- Pressschmieden, c- Hammerschmieden

Die Blindnut wird zum Auffangen des überschüssigen Materials und zur Regelung der Presse im Hohlraum verwendet. Wenn der Hohlraum gefüllt ist, wird das überschüssige Material in die Anschlussnut geschoben. Die Menge des Metalls (Flashen) hängt von der Menge des Metalls in der Kavität und von der Beziehung zwischen dem Längsschnitt des

Hohlraums und dem Rohling ab. Dies bestimmt den Charakter der Hohlraumfüllung. Beim Füllen des Hohlraums durch Hämmern ist der Eindeckrahmen kleiner als beim Absenken (Bild 17).

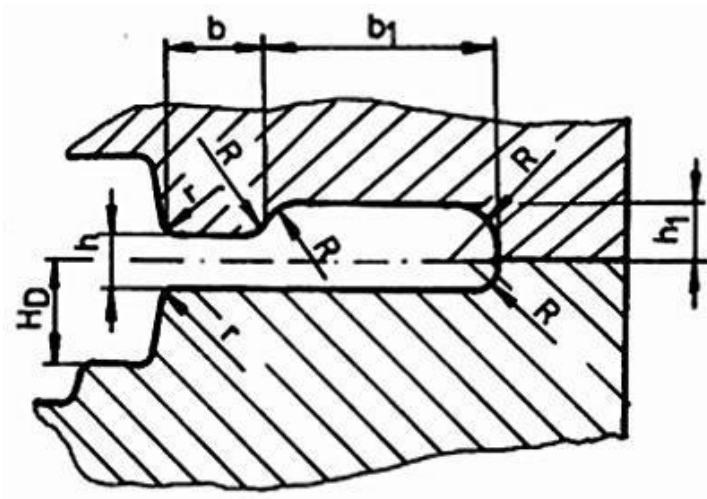


Abbildung 17 Blindnut

9.6. Walzen - Klassifizierung und Prinzip

Das Walzen im Maschinenbau wird zur Herstellung von flachen Rohlingen und fertigen Schmiedeteilen mit wiederholtem Querschnitt (z.B. schwarze Werkzeuge, Ringe mit verschiedenen Durchmessern, etc.) eingesetzt.

Walzen von Ringen

Ringe mit großem Durchmesser werden durch lose Umformung auf dem Dorn oder durch Walzen hergestellt.

Die Walztechnologie für Ringe wird in der Warm- und Kaltumformung eingesetzt. Diese Technologie eignet sich für die Massenproduktion und Serienproduktion, da die Kosten für Einzweckwalzen hoch sind (Bild 18).

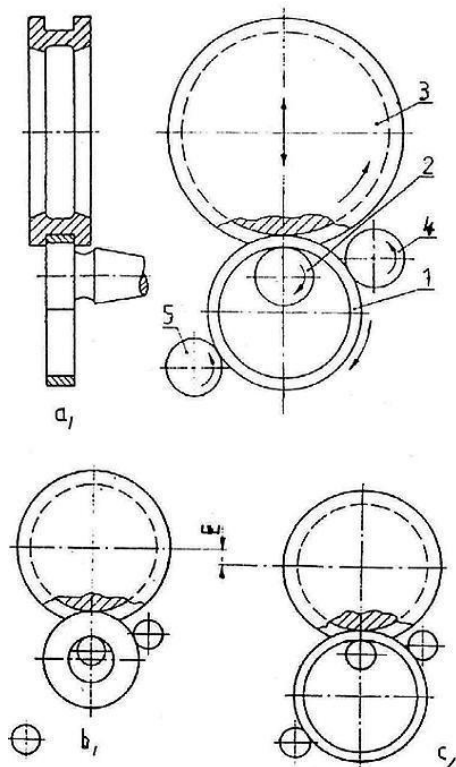


Abbildung 18 Walzen von Ringen

Das Ausgangsmaterial ist ein Rohr oder Knüppel, der gehämmert, gesenkgeschmiedet, gestanzt und anschließend gewalzt wird. Der Ring wird dann auf den Stützzylinder (2) gelegt und über den Vorschubzylinder (3) wird das Material bei gleichzeitiger Drehung geschoben und reduziert. Die Ringführung wird durch die Zylinder (2, 4 und 5) gesichert. Wenn die erforderlichen Parameter erreicht sind, stoppt der Steuerzylinder (5) den Zylinderhub (3). Das Walzen wird zur Herstellung von Ringen mit einem Durchmesser von 2500 mm verwendet.

Vorteile dieser Technologie:

Die Bearbeitungszugaben sind geringer und damit der Materialverbrauch reduziert, die Bearbeitungszeit kürzer und der Verbrauch von Energie und Werkzeugen geringer. Erhöht die Tragfähigkeit von Lagern und anderem (um fast 40 %).

MASCHINENBAU 3

1. Schnelles Prototyping

1.1. Schnelles Prototyping

Historie

- 1980´ s - erste entwickelte Methode (RP - STEREO LITHOGRAPHIE)

Anwendung:

- Erstellung eines Modells - Schnelle Modellierung
- Herstellung von Werkzeugen und Vorrichtungen - Schnelle Werkzeugausrüstung
- Marketing und Stückfertigung - Schnelle Herstellung

Vorteile

- Reduzierung der Produktionskosten
- Qualitätsverbesserung
- Produkt- und Technologieentwicklung
- Herstellung von Produkten mit komplexer Formgebung
- RP ermöglicht die Überprüfung von Funktion, Design und Ergonomie eines Produkts auch unter schwierigen Bedingungen.
- Entwicklung

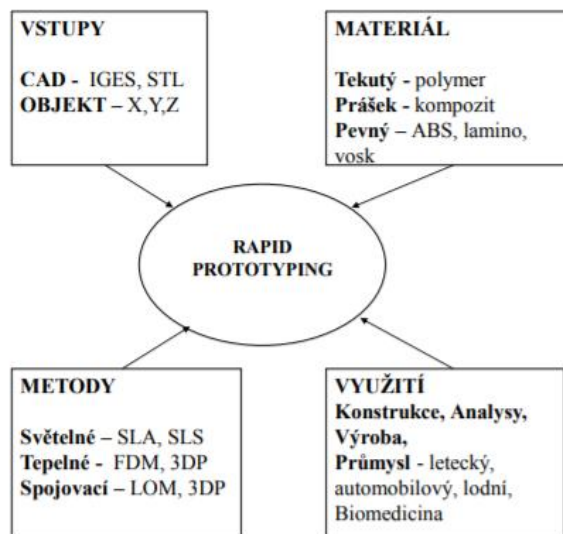
Verwendete Materialien: Flüssigkeit, Pulver, Polymer, Papier, etc.

Entwicklung der Technologie:

- Materialien mit besseren technologischen Eigenschaften
- Verwendung von Verbundwerkstoffen für die Produktion (glas-, kohle- oder Kevlarfasen)
- Kunststoffe)
- Steigerung der Produktpräzision und -qualität
- Senkung der Produktionskosten von Produkten
- Reduzierung des Gerätepreises
- Automatisierung der Produktion
- Material- und Energieeinsparung

Definition des Schnellen Prototyping:

- Schnelles Prototyping umfasst alle Technologien, die den Produktionsprozess von 3D automatisieren.
- kompakte Objekte aus Originalmaterialien
- Eine Reihe von Technologien, die die Herstellung von Modellen und Prototypen von
- komplexe Teile direkt auf Basis von 3D-CAD-Daten. Das Produkt kann hergestellt werden
- Verwendung verschiedener Materialien je nach Ausstattung.



Legende: vstupy - Inputs, Objekt - Objekt, materiál - Material, tekutý Flüssigkeit, Polymer - Polymer, prášek - Pulver, Kompost - Mischung, pevný - fest, lamino - lamino, vosk - Wachs, Metodíe - Verfahren, světelné - Licht, tepelné - Wärme, spojovací - verbindend, využití - verwenden, konstrukce - Design, analýzy - Analysen, výroba - Produktion, průmysl - Industrie, letecký - Luft, automobilový - Automobil, lodní - Schiff, biomedicína - biomedizinisch

1.2. Methoden, Merkmale, Arten des Rapid Prototyping

- **Nach Produktionsprozess wird RP unterteilt in:**
 - Mit dem Laser hinzugefügte Schichten
 - Punktuelle Aushärtung
 - Schichthärtung
- **Schichten ohne Laser hinzugefügt**
 - Punktuelle Aushärtung
 - Schichthärtung

Beispiele:

- **SLA** - StereoLithography Aparatus, Flüssigacrylat, Punkt, Laser, Laser
- **SGC** - Solid Ground Curing, flüssiges Acrylat, UV-Lampe
- **SLS** - Selective Laser Sintering, Verbund aus 2 Pulverarten, gesintert
- **FDM** - Fuse Deposition Modeling, ABS-Kunststoffe durch Extrusion ergänzt
- **LOM** - Laminierte Objektmodellierung, Papierlaminierung, Laser, etc.
- **3DP** - Dreidimensionaler Druck - Schichtdruck, Pulverklebung

Funktion und Bedeutung des Prototyping

- **Konzept** - alle Ideen teilen
- **Eignung** - Prüfung der Konstruktionsmaße
- **Form** - Beurteilung der Ästhetik und Ergonomie von Bauteilen
- **Funktionalität** - Prüfung in der Arbeitsumgebung
- **Angebot** - Bewertung des Produkts in Bezug auf das Angebot
- **Marketing** - Kommunikation mit dem Kunden über Design

Arten von Prototypen

- **Konstruktionsprototypen**
 - Geometrie- und Montageprüfung
- **Prototypen des Designs**
 - Verbesserung der Kommunikation zwischen den Partnern - Überprüfung des Designs

- **Funktionsprototypen**
 - Prüfung und Analyse von Luftstromarten - Modelle für Windkanäle
- **Technische Prototypen**
 - Funktionalität, Eigenschaften

1.3. Stereolithographie

- RP-Technologie
- Die präziseste Herstellung komplexer Produkte und Modelle
- Ergänzungsmethode der Produktion (Kombinieren, Hinzufügen von Materialien)

Prinzip des Verfahrens

- Das 3D-PC-Modell wird in ein gewünschtes Format umgewandelt.
- Dateneingabe in die RP-Software
- Erstellen eines virtuellen Modells und dessen Schneiden und Einstellen der Schichtdicke
- Vorschlag für eine Unterstützung

Anwendung

- Produkte mit inneren Hohlräumen und komplexen Details
- Modelle für die Gießerei - Herstellung von Formen und Werkzeugen
- Ersatz von Wachsmodellen
- Modelle für die Medizin- und Luftfahrtindustrie
- Überprüfung des Designs eines entworfenen Objekts
- Nachteile
- Langsame Polymerhärtung
- Geringer Wärmewiderstand
- Verwendete Materialien
- Photopolymere - reagieren auf Licht durch Aushärten
- Acryl- oder Epoxidharze
- Teile von Stereolithographiegeräten
- Arbeitskammer
- Laserausrüstung
- Steuerungssystem

Produktionsprozess

- **Erstellung eines 3D-PC-Modells**
 - Erstellen eines Modells in einem CAD/CAM-System
 - Abtastung von CAT-Tomographiegeräten
 - 3D-Messgerät - Abmessungen
 - Erstellen eines funktionierenden STL-Programms
 - Verschieben der Datei in die Software des angegebenen Programms
 - Das Programm bereitet das Modell für den Produktionsprozess vor - Erstellung eines Arbeitsablaufs.
 - Programm mit einer STL-Endung
 - Das Modell wird in identische Schichten geschnitten.
 - Stereo-Lithographieverfahren
 - Laser erzeugt einen Strahl
 - Zeichnen von Schichtoberflächen - Aushärten von Materialien
 - Die Bewegung des Lasers wird durch das Programm gesteuert.
 - Die nächste Schicht wird nach dem Aushärten der vorherigen aufgetragen.

- **Produkthärtung im UV-Ofen**
 - Das Produkt wird getrocknet und ausgehärtet.

- **Fertigstellung des Produkts**
 - Oberflächenbehandlung
 - Auftragen von Füllstoffen, Farbstoffschicht möglich
 - Oberflächenpolitur
 - Oberflächenrauigkeit - 1-2 μm
 - Genauigkeit - Hundertstel mm
 - Unterstützung:
 - Die am besten geeignete Position des Modells auf der Plattform, gewährleistet durch Stative.
 - Die Ständer müssen so aufgestellt werden, dass sie nach Fertigstellung leicht entfernt werden können.
 - der Prozess
 - Nach dem Aushärtungsprozess wird das Modell herausgenommen und in einer UV-Kammer ausgehärtet.
 - Planfräser
 - Nach dem Aushärten jeder einzelnen Schicht richtet der Fräser das Harzniveau so aus, dass es mit dem Harzniveau übereinstimmt.
 - die Dicke einer weiteren Schicht wird erreicht

1.4. Selektives Lasersintern SLS

Schema

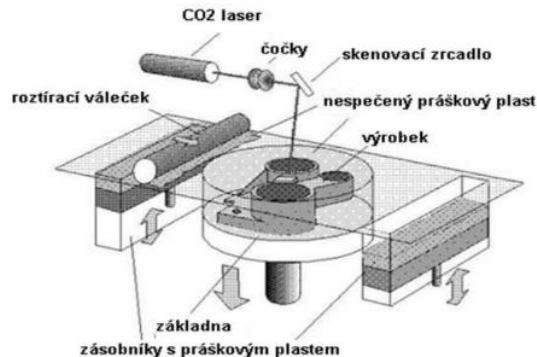
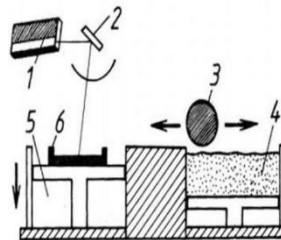


Schéma zařízení sinteringu



- 1 – laser
- 2 – zrcadlo
- 3 - válec pro dopravu prášku materiálu obrobku
- 4 - zásobník prášku
- 5 - pracovní komora
- 6 - vyráběná součást

Legende: rozstírací váleček - Raket, čočky - Objektiv, skenovací zrcadlo - Scanspiegel, nespečený plastový prášek - ungesintert Pulverkunststoffe, výrobek - Produkt, základna - Plattform, zásobníky s práškovým plastem - Zuführungen mit Pulverkunststoffen, Schema zařízení Sinterung - Sinterschema, zrcadlo - Spiegel, válec pro dopravu prášku materiálu obrobku - Zylinder zum Transport der Pulver aus Werkstückmaterial, zásobník prášku - Pulverförderer, pracovní komora - Arbeitskammer, vyráběná součást - Komponente wird hergestellt

- Die Modelle sind sehr stark.
- Verwendung von Pulversintern mittels CO 2-Laser
- Das Pulver wird in Schichten auf die Trägerplatte in der Innenatmosphäre (Stickstoff oder Argon)
- Prinzip
 - Mit dem Laser wird das Material gesintert oder es schmilzt und verfestigt sich.
 - Das umgebende Material schafft eine natürliche Unterstützung.
 - Hergestellt aus Schichten
 - Die Trägerplatte wird nach dem Erstellen einer Schicht nach unten verschoben.
- Verwendete Materialien
 - Pulver, das bei Hitze schmilzt.
 - Thermoplastische Kunststoffe
 - Spezielle niedrigschmelzende Legierungen

- Stahlpulver

Produktionsanlagen

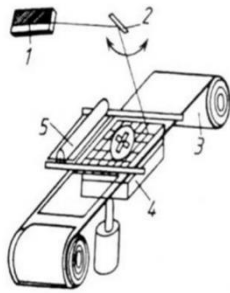
- Pulverförderer
 - Mit Hilfe eines Hubkolbens und eines Zylinders wird das Pulver zum Ort der Aushärtung transportiert.
- Optische Systeme
 - Der Laser härtet eine ausgewählte Oberfläche aus, dann wird die Plattform um die Dicke der Schicht nach unten bewegt und der Prozess wiederholt.
 - Plattform - das Produkt wird dort platziert.

Modell = Produkt

- Das Modell wird in ungehärtetes Pulver gelegt.
- Nach dem Aushärten muss das Pulver abkühlen.
- Um den Schutz der Oberflächenqualität zu gewährleisten, wird die Kammer mit Schutzgas gefüllt.

1.5. Herstellung von laminierten Objekten LOM

- Das Prinzip besteht darin, die einzelnen Schichten aufeinander zu laminieren.
- Zu den verwendeten Materialien gehören Papier, Kunststoffe, Holz, Zinn, etc.
- Das Verfahren basiert auf dem Schichten eines klebrigen Materials.
- Komponenten werden aus speziellen Kunststofffolien oder vielen Papierschichten hergestellt, die mit einem imprägnierten
- Verstärkungsmaterial
- Die einzelnen Schichten werden mit einem CO₂-Laser in die richtige Form geschnitten.
- Produktmerkmale
 - Ähnlich wie Holz
 - Handgehaltene Laserbearbeitung für glatte Oberflächen
 - Geeignet für größere Bauteile
 - Nachteil
- LOM-Schema



- 1 – laser
- 2 – zrcadlo
- 3 – role fólie
- 4 – nosná deska
- 5 – vyhřívané přítlačné válce

Legende: zrcadlo - Spiegel, Rolle fólie - Folienrolle, nosná deska - Trägerplatte, vyhřívané přítlačné válce - beheizte Andruckrollen

- LOM-Schichtung eines klebrigen Materials
 - Schichten von Folie und Klebematerial
 - Das Material wird auf die Trägerplatte abgewickelt.
 - Die gewünschte Form wird durch den Laser erzeugt.
 - Die Schichten werden unter dem Druck der beheizten Rolle verbunden.
 - Die restliche Folie wird wieder auf die Rolle aufgewickelt.
 - Die Trägerplatte fährt nach unten und der Vorgang wird wiederholt.

1.6. 3D-Druck

Definition des 3D-Drucks

3D Es ist mit den Technologien verbunden, die mit den Prozessen der Anwendung verbunden sind. Thermoplastische / duroplastische Polymere und Wachse zur Herstellung von 3D-Feststoffobjekten.

Grundsätzlich werden zwei Technologien eingesetzt:

- Eine Ein-Düsen-Produktion
- Eine Mehrfachdüsenproduktion

Art des verwendeten Materials

- Wachs
- Wärmehärtbares UV-Harz
- Thermoplastische Polymere mit Paraffin, Kohlenwasserstoffwachs und Farbstoffen
- Thermoplastische Polymere, die Kohlenwasserstoffe, Amide und Ester für höhere Temperaturen enthalten.

- Haltbarkeit
- Nicht recycelbar - gefiltertes Produkt

"Der 3D-Druck beinhaltet die Technologien, die für den Layer-Ansatz bei der Erstellung von Produkten oder für die Erstellung von Produkten verwendet werden.

Komponenten durch Auftragen von Pulverschichten und anschließende Bindung in die Form eines festen Objekts.

- It´s ein Verfahren ähnlich dem Lasersintern
- 3D-Druck verwendet Tintenstrahlköpfe für die Anwendung.

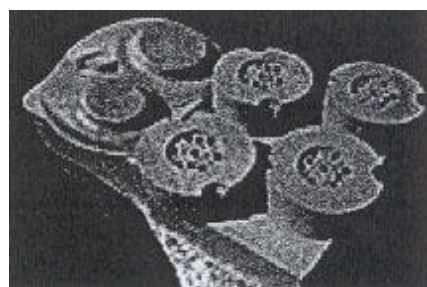
Verfahren zur Herstellung von Bauteilen

- Importieren einer STL-Datei in die Software-Schnittstelle
- Befüllen des Behälters mit Pulver
- Ausbringung des Pulvers aus dem Bottich
- Pressen des Bindemittels auf das Pulver und Formen des ersten Schnittes
- Das verbleibende Pulver bildet einen Träger für die überhängenden Schichten.
- Absenken der Trägerplatte und Aufbringen einer neuen Schicht auf die Oberfläche
- Der gesamte Prozess wird wiederholt.

3D-Druck – Metalle

Anwendung und Bindung von Metallpulvern

- Der Prozess selbst ist derselbe, was anders ist, ist die Nachbearbeitung, bei der die Komponenten im Ofen gesintert werden, um das Bindematerial zu entfernen und die Metallmoleküle zu verbinden.



2. Stahlproduktion

Die Stahlerzeugung ist ein metallurgischer Prozess zur Herstellung von Stahl aus Roheisen, bei dem überschüssiger Kohlenstoff und andere unerwünschte Elemente wie Phos-

phor und Schwefel entfernt und notwendige Elemente wie Mangan, Aluminium, Silizium und andere hinzugefügt werden.

Stahl wird in einem spezialisierten Hüttenwerk namens Stahlwerk hergestellt.

2.1. Rohstoffe

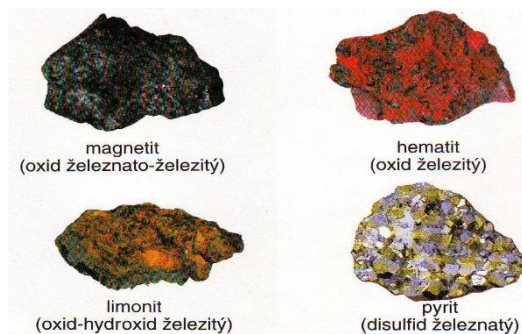
Eisenerz (besteht hauptsächlich aus Sauerstoffverbindungen des Eisens):

- Fe_2O_3 – rotes Eisenerz (Hämatit)
- Fe_3O_4 – magnetisches Eisenerz (Magnetit)
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – Limonit
- FeS_2 – Pyrit

Koks (Steinkohle) - es ist fast reiner Kohlenstoff, er wird zur Reduzierung von Eisenoxiden verwendet.

Kalkstein CaCO_3 - hilft, so genannte Schlacke aus Gestein zu bilden, die bei Eisenerz vorkommt.

Zusätzliche Eisenerzgesteine werden als Gangue bezeichnet, die meist vor dem Hochofen entfernt werden.

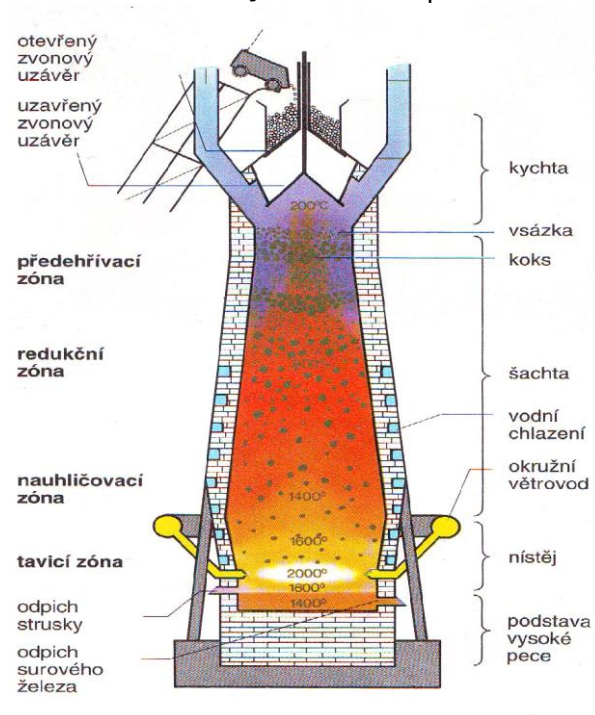


Legende: Magnetit (Oxid železnato-železitý) - Magnetit (Eisenoxid-Eisenoxid), Hämatit (Oxid železitý) - Hämatit (Eisenoxid), Limonit (Oxidhydroxid železitý) - Limonit (Eisenoxid-Hydroxid), Pyrit (Disulfid železnatý) - Pyrit (Eisendisulfid)

2.2. Hochofen

Bis zu 40 m hoher, 15 m breiter Schachtofen aus Stahl, innen mit feuerfesten Ziegeln. Es

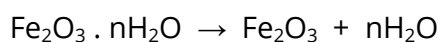
arbeitet bis zu 10 Jahre nonstop.



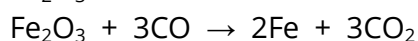
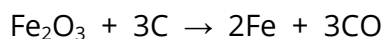
Legende: Otevřený zvonový uzávěr - offener Glockenverschluss, uzavřený zvonový uzávěr - geschlossener Glockenverschluss, předehřivací zóna - Vorheizzone, redukční zóna - Reduktionszone, nauhličovací zóna - Aufkohlungszone, tavicí zóna - Schmelzzone, odpich strusky - Schlackenanzapfung, odpich surového železa - Roheisenanzapfung, Kychta - Hochofen, vsázka - Charge, koks - Koks, šachta - Schacht, vodní chlazení - Wasserkühlung, okružní větrovod - Luftkanal, nístěj - Herd, podstava vysoké pece - Hochofenboden

2.3. Reaktionen im Hochofen

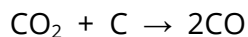
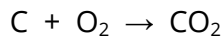
Zeichnen von Rohmaterial:



Eisenreduktion:



Verbrannter Koks:



2.4. Roheisen und Schlacke

Schlacke schützt die Oberfläche von geschmolzenem Eisen vor Oxidation.

Das Abstich von Roheisen und Schlacke vom Boden des Hochofens aus wird alle zwei Stunden durchgeführt.

Roheisen enthält folgende Zusatzstoffe: ca. 4% von C, Mn, Si, P, S. Es ist sehr hart, aber spröde. Es wird in Formen (Gusseisen) gegossen und dient zur Herstellung von Heizungen, Maschinenteilen, Rohrleitungen usw., wird aber meist zu Stahl weiterverarbeitet.

Roheisen ist ein Hauptprodukt beim Schmelzen von Eisenerz mit Koks, Kalkstein und anderen Zusatzstoffen im Hochofen.

- Hoher Kohlenstoffgehalt - mehr als 2,14 %, typischerweise sogar mehr als 3,5 %.
- Aufgrund des hohen Kohlenstoffgehalts ist Roheisen hart und spröde. Es schmilzt unter Erwärmung auf 1150°C - 1250°C ohne Erwärmung über einen duktilen Zustand.
- Eine Warm- oder Kaltumformung ist daher nicht möglich.
- Es wird auch als nicht formbares Eisen bezeichnet und ist in seiner direkten Verwendung sehr begrenzt.
- Es ist jedoch der Ausgangsstoff für die Herstellung anderer technischer Eisensorten.

Klassifizierung von Roheisen

Graues Roheisen - je mehr Eisen in Form von Graphit entfernt wird, desto dunkler ist die Farbe, es ist weicher und besser formbar. Es ist gut gegossen, daher wird es für Gießereizwecke verwendet.

- **Stahl**
- **Gießerei: Grauguss**
 - Aushärteter Guss
 - Modifizierter Guss
 - Formbarer Guss
 - Legierter Guss

- Unlegierter Guss

Weißes Roheisen - entfernte Zementite verursachen seine Härte; es wird daher im Stahlwerk zu Stahl weiterverarbeitet.

- Stahl
- Gießerei: Weißguss

- unlegierter Vergütungsguss

Spezielles Roheisen - Ferrolegierung - enthält neben Kohlenstoff auch andere Elemente wie Mangan, Silizium, Chrom, Vanadium, Molybdän. Die Elemente werden als Additive bei der Herstellung von legiertem Stahl und Guss verwendet.

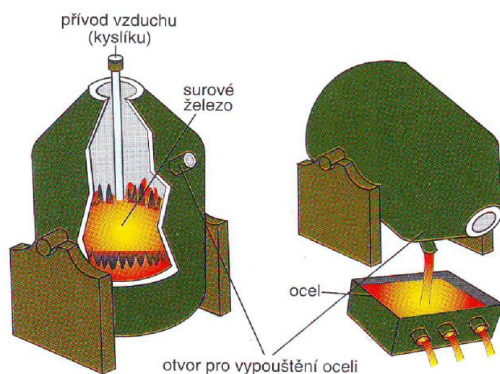
2.5. Stahlproduktion

Zur Verbesserung der Qualität von Roheisen wird in Stahlwerken das Verfahren der sogenannten Veredelung eingesetzt (es bezieht sich auf die Entfernung des größten Teils der Verunreinigungen durch Kohlenstoff und andere Elemente).

Konverter-Methode: Die Entfernung unerwünschter Verunreinigungen besteht in ihrer Oxidation durch Luftsauerstoff in einem Konverter (spezieller Kippofen).

In Herdöfen: Oxidation von unerwünschten Verunreinigungen durch Sauerstoff aus Eisenschrott oder behandeltem Eisenerz.

Umrichter für die Stahlproduktion



Legende: přívod vzduchu (kyslíku) - Lufteinlass (Sauerstoff), surové železo - Roheisen, Ocel - Stahl, otvor pro vypouštění oceli - Stahlauslass

Stahl

- Langsam abgekühlter (angelassener) Stahl ist weniger hart und biegsam.

- Vergüteter (schnellgekühlter) Stahl ist hart, aber spröde.
- Max. 1,7% Kohlenstoff.
- Je mehr Kohlenstoff der Stahl enthält, desto härter ist er.
- Die Stahleigenschaften werden durch Zugabe kleiner Mengen einiger anderer Metalle (Chrom, Nickel, Vanadium, Wolfram usw.) verbessert.

Stahlsorten

Anteil an Kohlenstoff	Kohlenstoffstahl		Spezialstahl	
	Eigenschaften	Anwendung	Zusätze	Anwendung
Ungefähr 0.25 %	Formbar und dehnbar	Bleche für Dosen und Karosserien, Drähte, Nägel, etc.	chromium 25 %, nickel 20 %, silicon 0.5 %	Sehr stark: gepanzerte Platten
0.25 – 0.7 %	Hart und steif	Schienen, Achsen, Baustahl	Chromium 18 %, nickel 8 %	Rostfreier Stahl
0.7 – 1.7 %	Sehr hart	Stahlfedern, Messer, Werkzeuge	Chrom 6 %, Wolfram, Vanadium, Kobalt, Kobalt	Hitzebeständig: Stahlbearbeitungswerkzeuge

3. Stahlmarkierung

3.1. Stahlmarkierung

Die Stahlkennzeichnung ist in den Normen festgelegt. Die einzelnen Stäbe, Rohre oder Platten werden in der Produktion farblich gekennzeichnet.

Neben der Farbmarkierung wird auch die numerische Markierung verwendet. Die numerische Markierung aus Stahl besteht aus einer grundlegenden numerischen Markierung (5 oder 6 Ziffern). Diese Markierung kann durch eine zusätzliche numerische Markierung ergänzt werden - eine zweistellige Markierung, die durch einen Punkt von der Grundmarke getrennt ist.

Umformende Stahlmarkierung: 1x xxx oder 1x xxx.xx

Gießerei-Stahlmarke: 42 xxxx oder 42 xxxx.xx.xx

3.2. Formstahl

Stahl der Klasse 10 - Baustahl, Kohlenstoffstahl von üblicher Qualität

Stahlklasse 11 - Baustahl, Kohlenstoffstahl von üblicher Qualität

Stahlklasse 12 - Baustahl, Sonderkohlenstoffstahl

Stahlklasse 13 - 16 - Baustahl, Sonderstahl, legierter Stahl

Stahlklasse 13 - 15 niedrig legierter Stahl

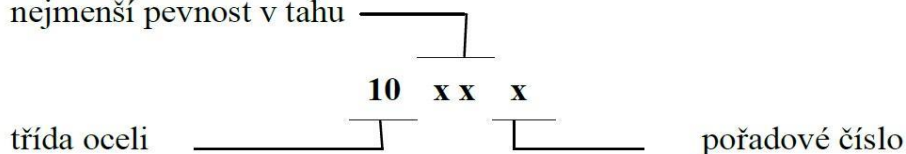
Stahl der Klasse 16 niedrig- und mittellegierter Stahl

Stahlklasse 17 - Baustahl, Sonderstahl hochlegiert

Stahlklasse 19 – Werkzeugstahl

Oceli třídy 10 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

nejmenší pevnost v tahu

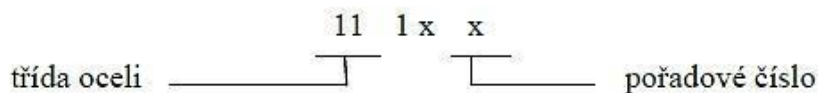


Legende: oceli třídy 10 - Stahlklasse 10, oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí - Baustahl, Qualitätsstahl, nejmenší pevnost v tahu - niedrige Zugfestigkeit, třída oceli - Stahlklasse, pořadové číslo - Bestellnummer

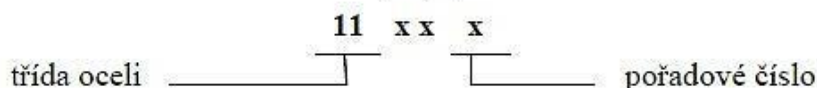
Oceli třídy 11 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

1 značí ocel vhodnou k obrábění – tzv. automatová

střední obsah C v desetinách % zaokrouhlený na nejbližší celé číslo



střední pevnost v tahu

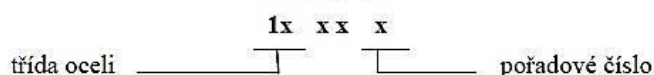


Legende: oceli třídy 11 - Stahlklasse 11, oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí - Baustahl, Kohlenstoffstahl gängiger Qualität, 1 značí ocel vhodnou k obrábění - 1 ist bearbeitungsfähiger Stahl, střední obsah C v desetinách % zaokrouhlený na nejbližší celé číslo - mittlerer C-Gehalt in Zehntel %, abgerundet auf die nächste ganze Zahl, třída oceli - Stahlklasse, střední pevnost v tahu - mittelzugige Stränge

Význam jednotlivých číslic číselné značky u ocelí třídy 12 – 16 se posuzuje stejně.

součet obsahu přísad. prvků (kromě uhlíku) v %,

střední obsah C v desetinách %. Pokud je obsah C větší jak 0,9% , je čtvrtá číslice 0



Legende: Význam jednotlivých číslic číselné značky u ocelí třídy 12 - 16 se posuzuje stejně: Einzelne Ziffern für die Stahlklasse 12 - 16 werden auf die gleiche Weise identifiziert. Součet obsahu přísad. prvků kromě uhlíku v % - Summe des Gehalts an Additiven neben Kohlenstoff in %, střední obsah C v desetinách % - mittlerer C-Gehalt in Zehntel %. Pokud je obsah C větší než 0,9 %, čtvrtá číslice je 0 - wenn der C-Gehalt höher als 0,9 % ist, ist die vierte Ziffer 0.

Stahlklasse 17

Nach dem Legierungsgrad wird die Stahlklasse 17 in mittellegierten und superlegierten Stahl unterteilt.

Diese Stähle werden mit einer um ein Vielfaches höheren Anzahl von Legierungselementen legiert (wie bei den Stahlklassen 13 - 16).

Es gibt viele Arten von Stahl der Klasse 17. Dies sind Stähle, die korrosionsbeständig, feuerfest, hitzebeständig und Spezialstähle sein können. Sie werden hauptsächlich durch Chrom, Mangan, Silizium, Nickel, Wolfram, Titan, Vanadium und andere edle Elemente legiert.

Numerische Markierung	Bedeutung der dritten Stelle
17 0 xx	Chromlegierte Stähle, Chromstahl
17 1 xx	Chromstahl + andere Elemente Mo, Al
17 2 xx	Chrom-Nickel-Stahl
17 3 xx	Chromnickelstahl + andere Elemente Ti, Nb, Mo, V, W
17 4 xx	Mangan-Chrom oder Mangan-Chrom-Nickelstahl
17 5 xx	Nickelstahl
17 6 xx	Manganstahl
17 7 xx	Mangan-Nickelstahl
17 8-9 xx	Spezielle Kombination von Elementen
Die vierte Ziffer gibt die Menge der Zusatzstoffe an. Die fünfte Ziffer drückt den steigenden C-Gehalt aus.	

Stahlklasse 19 – Werkzeugstahl

Numerische Markierung	Dritte Stelle in der Markierung	
19 0 xx 19 1 xx 19 2 xx	Werkzeugkohlenstoffstahl	
19 3 xx	Manganstahl	Legierter Werkzeugstahl
19 4 xx	Chromstahl	
19 5 xx	Chrom-Molybdän-Stahl	
19 6 xx	Nickelstahl	
19 7 xx	Wolframstahl	
19 8 xx	Schnellarbeitsstahl	
Die vierte Ziffer zeigt die Kombination der Additive an. Die fünfte Ziffer gibt die Methode der Stahlerzeugung an.		

Stahlguss

Numerische Markierung	Bedeutung der dritten und vierten Stelle in der Marke
-----------------------	---

sche Markierung	
42 26 xx	Stahlguss - Kohlenstoff
42 27 xx	Stahlguss - niedrig- und mittellegiert, in Sandformen gegossen
42 28 xx	Stahlguss, niedrig- und mittellegiert, anders als in Sandformen gegossen, Stahl für Permanentmagnete
42 29 xx	Hochlegierter Stahlguss
<p>Die ersten beiden Ziffern - 42 zeigt den Stahlindustrie-Standard an. Die zweiten beiden Ziffern zeigen die Gruppe der Stähle an. Die dritten beiden Ziffern zeigen Folgendes an: Kohlenstoffstahl - 00-29 - Stahl wird auf andere Weise als in Sandformen gegossen. 30 - 99: Wert der Zugfestigkeit in MPa Legierter Stahl: Gruppen von Legierungselementen</p>	

Numerische Markierung	Erste zusätzliche Ziffer
1x xxx.0 x	Nicht wärmebehandelt
1x xxx. 1 x	Normalisiert und geglüht
1x xxx. 2 x	Normalisiert mit einer bestimmten Art des Glühens
1x xxx. 3 x	Weichgeglüht
1x xxx. 4 x	Gehärtet oder vergütet und angelassen
1x xxx. 5 x	Normalisiert und angelassen
1x xxx. 6 x	Verfeinert auf niedrigere Festigkeiten, die für bestimmte Stähle typisch sind.
1x xxx. 7 x	Raffiniert bis mittlere Festigkeit, typisch für spezifischen Stahl
1x xxx. 8 x	Verfeinert auf höhere Festigkeiten, die für bestimmte Stähle typisch sind.
1x xxx. 9 x	Wärmebehandlung, die nicht mit den Ziffern 0 - 8 beschrieben werden kann.
Die zweite zusätzliche Ziffer gibt den Grad der Umformmaterialien an.	

3.3. Graustich

Grauguss ist eine Mischung aus einem Stahlgrundwerkstoff, in dem Graphitflocken in verschiedene Richtungen dispergiert sind.

Die Form ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung und der Abkühlgeschwindigkeit beim Gießen.

Die Gusseigenschaften werden durch die Größe und Verteilung der Späne beeinflusst.

Es kann mehrere Formen von Graphit geben: knackig, spider´s Griff, regelmäßig körnig oder unvollkommen körnig.

Die Verteilung des Graphits kann gleichmäßig sein, in der Rosette, kontrolliert, unkontrolliert, gemischt.

3.4. Formbarer Guss

Temperguss wird aus Grauguss durch sogenannte Impfung hergestellt. Dies bezieht sich auf die direkte Zugabe von Magnesium in die Gießpfanne mit geschmolzenem Guss.

Durch den Magnesiumzusatz werden aus Graphitflocken Kugeln - es kommt zur sogenannten Graphitkristallisation.

Eine solche Struktur wird als perlitisch bezeichnet. Mit dieser Struktur verändern sich die Eigenschaften des neuen Gussteils erheblich.

Formbares Gussgefüge: ferritisch, perlitisch, ferritisch-perlitisch, ferritisch-perlitisch, perlitisch-ferritisch

Gehärteter Guss

Es wird durch Anlassen - Langzeitglühen von Weißguss hergestellt, bei dem Zementit in Eisen und Graphit zerlegt wird.

Vergüteter Graphit wird in Form von unregelmäßigen Körnern eliminiert. Seine Anwesenheit beeinflusst die Eigenschaften von gehärtetem Gusseisen ähnlich wie Kugelgraphit in Temperguss.

In einigen Fällen hat Gusseisen eine höhere Schrumpfrate und eine schlechtere Auslenkung; daher ist es nicht für die Herstellung von großen Gussteilen (bis zu 100 kg) geeignet.

4. Nichteisenmetalle und deren Legierungen

4.1. Klassifizierung und Kennzeichnung von Nichteisenmetallen

Neben Eisenmetallen sind Nichteisenmetalle in der technischen Praxis unersetzlich oder schlecht ersetzbar.

Die meisten dieser Reinmetalle haben nicht die Eigenschaften, die für den Bau von Maschinenteilen erforderlich sind. Sie sind Wärme- und elektrische Leiter, oxidationsbeständig (korrosionsbeständig), aber meist weich und zugfest.

Klassifizierung von Nichteisenmetallen:

- Schwermetalle und deren Legierungen (Dichte über 5 kg/dm³),
- Leichte Nichteisenmetalle und deren Legierungen (Dichte bis 5kg/dm³).

- Numerische Kennzeichnung von Nichteisenmetallen und -legierungen

- 42 x x x x x x x x - 42 zeigt die Metallurgieklasse an.
- 42 3 x x x x x x - 3 zeigt Schwermetalle und deren Legierungen an.
- 42 4 x x x x x x - 4 zeigt Leichtmetalle und deren Legierungen an.
- 42 x x x x x x x x - vierte Stelle 0, 2, 4, 6, 8 - Schmiedeerzeugnisse
- 42 x x x x x x x x - vierte Ziffer 1, 3, 5, 7, 9 - Gießereiprodukte
- 42 x x x x x x x x - Schwer- oder Leichtmetalle
- 42 x x x x x x x x - sechste Ziffer ist Ordnung
- 42 x x x x x x x x . x x x - erste zusätzliche - Wärmebehandlung
- 42 x x x x x x x x . x x x x - Gießverfahren im Falle des Gießens

4.2. Schwermetalle aus Nichteisenmetallen und deren Legierungen

Zu den Schwermetallen gehören

- Blei,
- Nickel,
- Antimon,
- Zinn,
- Zink,

- Cadmium,

Der Hauptvertreter der Schwermetalle und auch der am häufigsten verwendete ist Kupfer und seine Legierungen.

4.3. Kupfer und Kupferlegierungen

- Schmelztemperatur 1083 °C.
- Dichte 8.96kg/dm³.

- + Es hat eine sechsmal höhere Wärme- und Stromleitfähigkeit als Stahl.
- + Hart im Nehmen.
- + Leicht zu schweißen und zu löten (sowohl Löten als auch Lötten ist möglich).
- + Korrosionsbeständig.
- Weich.
- erschwerte Bearbeitung durch Kupferweichheit.

Klassifizierung von Kupfer:

- Kupfer für Formgebungszwecke - direkt verarbeitet
- Kupfer für Gießereizwecke - wird hauptsächlich für Legierungen verwendet.

Kupferlegierungen:

- Kupferlegierungen für Umformungszwecke,
- Kupferlegierungen für Gießereizwecke.

4.4. Bronze

Bronze ist eine Legierung aus Kupfer und verschiedenen Nichteisenmetallen mit Ausnahme von Zink.

Bronze wird als Bronze für Formgebungszwecke und Bronze für Gießereizwecke klassifiziert.

Es gibt mehrere Arten von Bronze, die auf dem Hauptlegierungselement basieren:

- Zinnbronze - bis zu 20% Sn
- Rote Bronze - bis zu 10% Sn + Pb
- Bleibronze - bis zu 33%Pb + Sn
- Nickelbronze
- Aluminiumbronze

4.5. Messing

Messing ist eine Kupferlegierung mit Zink und anderen Metallen. Wenn Messing mehr als 80 % Cu enthält, spricht man von Tombak.

- **Am besten legiert:** 60 % Cu.
- **Die höchste Zugfestigkeit:** 70 % Cu.
- **Markierung:** Ms 70 - die Zahl drückt den Cu-Gehalt in % aus. (z.B. Ms 85, Ms 90 - tombak).
- Architekturmessing, z.B. Ms 63 Pb ist Messing mit Bleizusatz.

Gießereimessing ist mit Ms L 60 gekennzeichnet - wobei die Zahl % des Cu-Gehalts angibt.

4.6. Blei und seine Legierungen

- Dichte 11,34 kg/dm³,
- Die Schmelztemperatur beträgt 327 °C.

+ leicht zu legieren
+ leicht zu bearbeiten (außer Feilen)
+ korrosionsbeständig, chemikalienbeständig
- Weich

4.7. Nickel und seine Legierungen

- Dichte 8,9 kg/dm³ kg/dm³
- Schmelztemperatur 1453 °C,
- Seine elektrische Leitfähigkeit ist viermal niedriger als bei Kupfer x besser als bei Stahl.
- Leicht zu legieren, zu löten und zu schweißen
- Gute Korrosionsbeständigkeit.
- Ferromagnetisch bis zur Temperatur von 356 °C.
- Hitzebeständig bis 800 °C (+ Cr bis 1300 °C)
- Wird hauptsächlich als Legierungselement bei der Herstellung verschiedener Stahlsorten, insbesondere der Stahlklasse 17, verwendet.
- Zur Herstellung von Alkalibatterien, als positive Platte,
- Einsatz in der Lebensmittelindustrie, Chemieindustrie, Herstellung von chirurgischen Instrumenten
- Wird als Metallschutz gegen Korrosion (Vernickelung) eingesetzt.

4.8. Zink und seine Legierungen

- Dichte 7,13 kg/dm³,
- Schmelztemperatur 419 °C,
- Die elektrische Leitfähigkeit ist etwas höher als die von Nickel.
- Leicht zu legieren und zu löten.
- Mechanische Eigenschaften ändern sich bei Temperaturänderungen
 - spröde bei normaler Temperatur,
 - formbar bei einer Temperatur von 100 - 150 °C
 - bei 200 °C verliert es seine Verformbarkeit und ist spröde.
- Verschiedene Korrosionsbeständigkeiten.

Früher wurde Zink mit der gleichen Technologie hergestellt wie bei der Kupferherstellung. Derzeit wird Zink elektrolytisch hergestellt (99,9%).

4.9. Zinn und seine Legierungen

- Dichte 7,3 kg/dm³,
- Die Schmelztemperatur beträgt 232 °C,
- Relativ geringe elektrische Leitfähigkeit
- Korrosionsbeständig.
- Es gibt 2 Modifikationen:
- β Änderung - die vorherrschende. Diese Modifikation wird als Weißzinn bezeichnet.
- α Änderung - auch Grauzinn (graues Pulver) genannt. Die Modifikation beginnt mit der Abkühlung auf die Temperatur von 13 °C.
- β - α Transformation Zinnschädling.

4.10. Kobalt

- Dichte 8,9 kg/dm³,
- Die Schmelztemperatur beträgt 1495 °C.
- Wird als Metallzusatz in Stahl verwendet,
- Erhöht die Feuerfestigkeit und Wärmeformbeständigkeit von Stahl bis zu den

Temperaturen von 800 - 850 °C.

- Herstellung von Luftstrahl- und Raketenmotoren, Legierungselement für Schnellarbeitsstahl, Herstellung von Hartmetall

4.11. Wolfram

- Dichte 19,3 kg/dm³,
- Die Schmelztemperatur ist sehr hoch: 3380 °C.
- Relativ gute elektrische Leitfähigkeit (etwa doppelt so hoch wie Stahl).

- Zugfestigkeit 1100MPa.
- Hohe Härte - 200HB.

Herstellung von Bauteilen, die bei hohen Temperaturen arbeiten, Legierungselement für feuerfesten und hitzebeständigen Stahl, Bauteil aus Werkzeugstahl, Herstellung von Hartmetall, Produkte der Pulvermetallurgie.

4.12. Molybdän

- Dichte 10,2 kg/dm³,
- Schmelztemperatur 2630 °C.
- Seine elektrische Leitfähigkeit ist niedriger als die von Wolfram.
- Stärke 700MPa
- Härte 150HB
- Erzeugt feuerfeste und hitzebeständige Legierungen.
- Legierungselement zur Herstellung von Stahlbauteilen bei hohen Temperaturen, Werkzeugstahl - zur Herstellung von hochwertigen Schneidwerkzeugen
- In der Pulvermetallurgie, zur Herstellung von thermisch und mechanisch beanspruchten Produkten.

4.13. Chrom

- Dichte 7,14 kg/dm³,
- Die Schmelztemperatur beträgt 1910 °C,
- Korrosionsbeständig, chemikalienbeständig.
- Es ist sowohl hitzebeständig als auch feuerfest.
- Spröde
- Legierungselement zur Herstellung von Bau-, Korrosions- und Werkzeugstahl.

- Stahlschutz gegen Korrosion.
- Dekorative Oberflächen im Automobilbereich.

4.14. Leichte Nichteisenmetalle und deren Legierungen

- **Aluminium** - Al und seine Legierungen
- **Titan** - Ti und seine Legierungen
- **Mangan** - Mg und seine Legierungen.

Sie werden sowohl bei der Herstellung von Stahl als auch von Nichteisenlegierungen eingesetzt und beeinflussen deren mechanische und andere Eigenschaften erheblich.

4.15. Aluminium und seine Legierungen

- Dichte 2,7kg/dm³,
- Gute Wärme- und Stromleitfähigkeit (60% Leitfähigkeit von Kupfer)
- Leicht zu formen und zu schweißen (+Si).
- Korrosionsbeständig, chemikalienbeständig.
- Umformen bei Temperaturen von 450 - 500 °C.
- Änderungen der mechanischen Eigenschaften =Al+Cu;Mg;Si;Mn;Zn.....

Produktion von Al

- Aluminiumgehalt in Erzen - über 8 %.
- Hergestellt fast ausschließlich aus dem sogenannten Bauxit.
- Chemisch - Aluminiumoxid Al₂O₃.
- Elektrolyse - Al von 99,3% - 99,8% Reinheit,
- Zonenveredelung - Al mit 99,999% Reinheit.
- Gießen Sie so genannte Schweine, Barren, Blöcke oder Platten ein.

Klassifizierung von Al

- **Nach Anzahl der Schmelzvorgänge:**
 - **Das erste Schmelzen von Aluminium** - wird direkt aus dem Rohstoff gewonnen.
 - **Zweitschmelzen von Aluminium** - Umschmelzen von Aluminiumabfällen.
- **Durch seine Verwendung:**

- Aluminium und seine Legierungen für Umformungszwecke
- Aluminium und seine Legierungen für Gießerei- oder Metallurgiezwecke

Aluminiumlegierungen für Umformungszwecke

- Die bekannteste Legierung: Al - Cu4 - Mg - Dural.
- Festigkeit im ausgehärteten Zustand - 400 MPa.

Geringe Korrosionsbeständigkeit; daher wird es mit Aluminium beschichtet.

- Al - Cu4 - Mg1 - superdural

Stärke über 500MPa.

Beide Legierungen werden zur Herstellung von Stangenprofilen und Blechen verwendet, die in der Luftfahrtindustrie eingesetzt werden.

Al + Cu + Ni

- Stabile mechanische Eigenschaften auch bei hohen Temperaturen.
- Festigkeit 400MPa
- Wird zur Herstellung von Komponenten für Verbrennungsmotoren, wie Kolben oder Kolbenstangen, verwendet.

Al + Mg mit Mg-Gehalt von 2 bis 8 % - Hydronalium

- Korrosionsbeständig,
- Stärke über 400MPa
- Einsatz in der Luftfahrtindustrie

Al + Mn

- Korrosionsbeständig
- Wird zur Herstellung von Behältern in der Lebensmittel- oder Chemieindustrie verwendet.

Legierungen Al + Sn

- Herstellung von Gleitlagern. Al - Sn₂₀,
- Verkleidet in Stahlgleitlagern in Form von dünnen Bändern, als Auskleidung.

Aluminiumlegierungen für Gießereien

- Temperatur des geschmolzenen Metalls 700 - 750 °C.

- Sie werden in Sand- und Metallformen (Barrenformen) sowie in Druckguss gegossen.
- Legierungselement für diese Legierungen ist Si - Silizium.

Silumin Al Si13 - mit einer geringen Menge an Magnesium,

- Schmelztemperatur 577 °C,
- Von Na vor dem Gießen geimpft.
- Zur Herstellung von Flugzeugen oder Verbrennungsmotoren.

4.16. Magnesium und seine Legierungen

- Seine Dichte beträgt 1,74 kg/dm³.
- Geringe Wetterbeständigkeit.
- Extrem geringe Beständigkeit gegen Meerwasser.
- Mg hat eine hohe Affinität zu Sauerstoff und wird daher als Desoxidationsmittel, zum Schweißen in kontrollierter Atmosphäre CO₂ eingesetzt.
- Korrosionsschutz durch Chromatierung = Beizen in der Lösung von Kalium- oder Natriumdichromat - Beschichtung von Chromverbindungen.
- Das Schweißen von Mg-Legierungen ist schwierig.
- Löten nicht möglich.
- Die Verbindung erfolgt meist durch Nieten.
- Magnesium kann aus Meerwasser zu 0,14% gewonnen werden.
- Weitere Rohstoffe: Magnesit und Dolomit.
- Es wird durch Elektrolyse bei Temperaturen von 700 - 750 °C oder durch Raffination oder silikothermische Reduktion von Dolomit durch Silizium bei einer Temperatur von 1200 °C hergestellt.

4.17. Magnesiumlegierungen

Magnesiumlegierungen sind immer mit Mangan, was ihre Korrosionsbeständigkeit und ihre Brennbarkeit verbessert.

Elektron Mg+3-10%Al+Zn+Mn.

- Dichte 1,8kg /dm³.

Bei der Bearbeitung von Magnesium ist ein guter Brandschutz erforderlich, da ein hohes Verbrennungsrisiko besteht, insbesondere wenn Staub aus dem Sand entsteht.

Mg-Legierungen sind leicht zu bearbeiten, die höchste Bearbeitungsgeschwindigkeit

wird gewählt.

4.18. Titan - Ti

- Dichte 4,5kg/dm³
- Mechanische Eigenschaften ähnlich wie bei Stahl.
- Nicht magnetisch
- Hohe Korrosionsbeständigkeit.
- Beständig gegen Säuren und Laugen.
- Einfach zu schweißen durch Lichtbogen- und Widerstandsschweißen.
- Die Bearbeitung ist nicht ganz einfach.
- Behandelt durch Schmieden, Walzen zu Schmiedeteilen, Walzstahl und Blechen.
- Gute mechanische Eigenschaften von Titan und seinen Legierungen.
- Weit verbreitet in der Luftfahrtindustrie, im Gesundheitswesen (meist Knochenersatz).
- Einer der Nachteile ist der hohe Preis. Titan ist ein sehr wichtiges Legierungselement in der Stahlerzeugung. Die Festigkeit von Titanlegierungen ist höher als die von Reintitan.

Titanlegierungen

α Legierungen enthalten immer Aluminium (bis zu 8 %). Ein weiteres Legierungselement ist Sn. Sie sind sehr einfach zu schweißen. Durch Schmieden werden z.B. Dampfturbinschaufeln aus ihnen hergestellt.

β Legierungen enthalten Aluminium und andere Elemente, wie Cr, V, W, Mo, etc. Nach dem Aushärten beträgt die Festigkeit dieser Legierungen bis zu 1150 MPa. Sie werden zur Herstellung von Motorkomponenten, in der Luft- und Pharmaindustrie eingesetzt.

4.19. Sonderlegierungen von Nichteisenmetallen

Diese Legierungen werden zur Herstellung von Gleitlagern (ihrem Gleitteil) verwendet - zur Herstellung von Auskleidungen, zum Gießen von Gleitlagerpfannen und zur Herstellung von Loten.

Es gibt zwei Arten von Legierungen, die für die Herstellung von Gleitlagern verwendet werden - feuerfeste und leicht schmelzende Legierungen.

Feuerfeste Legierungen beinhalten Zinnbronze, Rotguss, Bleibronze und viele andere. Sie werden zur Herstellung von Gleitlagern und anderen Zwecken verwendet.

Legierungen, die nur zur Herstellung von Gleitlagern verwendet werden, werden als Zusammensetzungen bezeichnet. Zusammensetzungen sind Legierungen aus Nichteisenmetallen, wobei die Grundkomponente entweder Zinn oder Blei ist. Das sind Legierungen mit einem sehr guten Gleitreibungskoeffizienten.

- **Zinnzusammensetzungen** - die Grundkomponente ist Zinn (85%) und andere Metalle, wie Antimon Sb, bis zu 10% und Cu.
- **Bleizusammensetzungen** - Blei als Grundkomponente (75%) und Antimon bis zu 15% und Zinn bis zu 10%.

Lot ist eine Nichteisenmetall-Legierung, die als Zusatzmaterial für das Löten von Materialien verwendet wird.

Je nach Schmelztemperatur werden Löt- und Lötmittel unterschieden:

- Lot mit Schmelztemperatur bis 500 °C - Weichlot.
- Lot mit Schmelztemperatur über 500 °C (ca. bis 950 °C) - Hartlot.

Weichlot ist Zinn - Bleilegierung, Zinn - Zink oder auch Kupferlegierung, Blei - Kupfer - Silberlegierung, etc.

- Sn40Pb mit Schmelztemperatur 185-225 °C
- Sn70Zn mit Schmelztemperatur 200-320 °C.

Hartlot

- Messinglot - zum Löten von Stahl, Kupfer, Silberlot - zum Löten von Kupfer, Bronze und Verbindungen in der Elektrotechnik.
- Ag45CuZn mit Schmelztemperatur 680-740 °C
- Ag28CuZnMnNi mit Schmelztemperatur 680-860 °C.

5. Pulvermetallurgie

5.1. Historie

- Herstellung von Werkzeugen und Waffen z.B. einiger afrikanischer Stämme.
- Die Verarbeitung bestand aus dem Mahlen von Erz und dem Entfernen von Gangarten.
- Es wurde zu Eisenschwamm, nachdem es in einem speziellen Ofen mit Holzkohle vermischt wurde.
- Nach der Nachvermahlung und Verfeinerung wurde das Pulver in einem geschlossenen Tontopf gesintert.
- 19. Jahrhundert in Russland - Geldprägung aus Platin (Schwammplatin verwendet)

5.2. Gründe für die Pulvermetallurgie

- Die Pulvermetallurgie ermöglicht es, Produkte mit besonderen Eigenschaften (z.B. hitzebeständig, abriebfest, etc.) herzustellen.
- Produkte mit hoher Porosität und Produkte, die den Übergang zu Verbundwerkstoffen darstellen, die mit anderen Technologien nicht hergestellt werden können.
- Die Pulvermetallurgie umfasst sowohl die Herstellung von Pulvern als auch deren Verdichtung (meist durch Pressen und Sintern) zu Baustoffen oder Bauteilen.

5.3. Pulver

- Pulver zeichnen sich durch physikalische (Verteilung und Größe der Partikel, Form und Morphologie der Oberfläche, Härte, etc.) und technologische Eigenschaften (Kompressibilität, Liquidität, Volumen, etc.) aus.
- Je nach Herstellungsverfahren kann es unterschiedliche Pulverformen geben: Kugel, Flocke, unregelmäßig, abgerundete Körner, etc.)
- Pulver können mit physikalischen, physikalisch-chemischen, chemischen oder elektrochemischen Methoden hergestellt werden.
- Aus wirtschaftlicher Sicht ist der wichtigste Faktor der Pulverpreis.
- Entsprechende modifizierte Pulver werden in der Regel in eine gewünschte Form gepresst; die erhaltene Form wird dann durch Sintern verarbeitet, so dass die erforderlichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften erreicht werden.
- Der größte Vorteil der Pulvertechnologie ist der Einsatz von Metall mit geringe-

rem Energieverbrauch, niedrigeren Arbeits- und Kostenaufwand und einer sauberen Umwelt. Ein weiterer Vorteil ist die Isotropie der mechanischen Eigenschaften.

Herstellungsverfahren der Pulvermetallurgie

Der Produktionsprozess besteht aus mehreren Stufen:

- Pulverproduktion
- Pulvermodifikation
- Pressen
- Sinterung von Pulverpressteilen
- Veredelungsprodukte

5.4. Mit Hilfe der Pulvermetallurgie-Technologie

Diese Technologie wird eingesetzt, wenn

- es ist nicht möglich, die gegebenen Materialien mit einer anderen Technologie zu verarbeiten, z.B. beim Fügen von Bauteilen, die nicht verschmelzen.
- Diese Technologie ist wirtschaftlicher als die anderen, z.B. bei der Verarbeitung von Materialien mit hohem Schmelzpunkt oder bei der Serienfertigung von Kleinteilen.
- Diese Technologie zeigt bessere Ergebnisse als die anderen Technologien, z.B. bei hohen Anforderungen an die Materialreinheit, die genaue chemische Zusammensetzung oder die Anforderung an die spezielle Struktur (Porosität).

Nachteile der Pulvermetallurgie

- niedrigere Dichte und die damit verbundene Festigkeit und Zähigkeit der hergestellten Werkstoffe
- hoher Preis der Maschinen.

Verdichtung von Metallpulvern

- Die Größe der Kontaktfläche von Pulvermetallteilchen hängt vom Grad und der Qualität der Bindung zwischen den einzelnen Teilchen ab - vom Grad der Verfestigung.
- Bei einem vollverdichteten Körper sind alle Pulverpartikel auf der gesamten Oberfläche in vollem Kontakt (wie bei festen Körpern); im losen Zustand berühren sich die Partikel jedoch nur in einem kleinen Teil der Gesamtfläche aller Par-

tikel.

- Die Werte der physikalischen und mechanischen Eigenschaften steigen mit zunehmender Kontaktfläche der Partikel.
- Der Grad der Pulverkörperverfestigung wird in der Regel durch einwirkende Druckkräfte oder Sinterung erhöht, in den meisten Fällen durch beide Verfahren.

Pressen

- Der Pulvermetallkörper weist ein Volumen von sowohl festen Partikeln als auch Lücken (Poren) auf.
- Das Porenvolumen hängt von der Art des Pressens und der Größe des Pressdrucks ab. Beim Verdichten des Pulvers im Werkzeughohlraum wirken sowohl die äußere (zwischen dem Pulvermaterial und der Wand des Pressformhohlraums) als auch die innere Reibung (Reibung zwischen den Partikeln).
- Reibung, die durch den Einsatz von Schmierstoffen reduziert werden kann, führt zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Dichte in der Presse.
- Durch die Druckrichtung wird das Pressen in einseitige, bilaterale und isostatische Pressen unterteilt.
- Bei einseitigem Pressen liegt die höchste Dichte im Bereich unterhalb des Stempels, bei beidseitigem Pressen die niedrigste Dichte im Zentrum der Presse.
- Beim isostatischen Pressen wird die äußere Reibung eliminiert und das Produkt zeigt eine gleichmäßige Dichte.
- Sintern.
- Das Pressen und Sintern kann mehrmals wiederholt werden, um die Porosität zu reduzieren.
- Der Pressdruck liegt zwischen 50 - 1800 MPa, die Porosität beträgt 50 - 8 %.
- Zum Pressen werden mechanische oder hydraulische Pressen eingesetzt.

Walzen

Das Walzen wird zur Herstellung von Halbfabrikaten in Form von Bändern, Stangen, Platten usw. eingesetzt. Das Pulver wird sanft aus dem Förderer in den Spalt zwischen den Zylindern gefördert, wo es durch Reibungskräfte getragen und durch den Druck der Zylinder komprimiert wird. Das Prinzip ist in der Abbildung dargestellt. Das relativ starke und flexible Band wird zum Sinterofen geführt. Das Walzen und Sintern kann je nach gewünschter Dichte mehrmals wiederholt werden. Durch eine geeignete Trichterkonstruktion können mehrschichtige Halbfabrikate hergestellt werden.

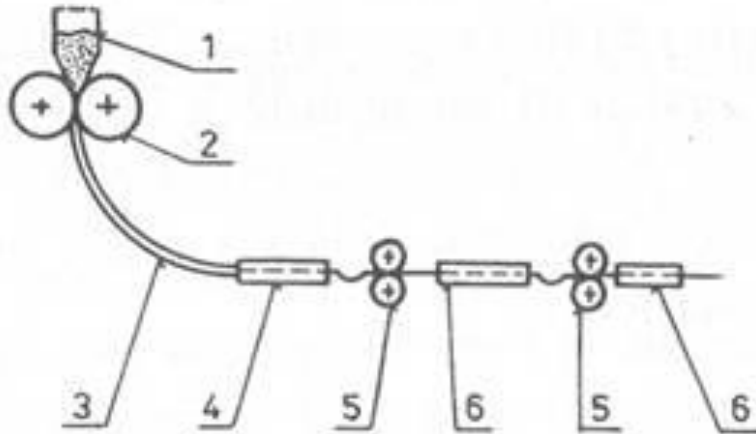


Diagramm der Halbzeugherstellung durch Walzen von Metallpulvern

1 - Trichter, 2 - Zweizylinderkomponente, 3 - Schlitten, 4 - Sinterofen, 5 - Zweizylinderkomponente, 6 - Glühofen

Schmieden

- Das Schmieden wird verwendet, um bessere mechanische Eigenschaften zu erreichen und die Restporosität zu eliminieren.
- Das Ausgangshalbzeug kann entweder ein Pressen sein, das während des Erwärmens auf die Umformtemperatur sintert, oder ein Sinterhalbzeug, das direkt nach der Entnahme aus dem Sinterofen vergessen werden kann.
- Das Freischmieden wird hauptsächlich für große Halbzeuge eingesetzt, das Gesenkschmieden

für Produkte mit hohen Präzisionsanforderungen. Es werden relativ kleine Verformungen gewählt.

5.5. Spezielle Konsolidierungsmethoden

- Das Heißpressen, das sowohl Pressen als auch Sintern beinhaltet, ermöglicht es, die volle Dichte der Pressteile zu erreichen.
- Das Pulver wird bei relativ niedrigem Druck und Temperaturen von fast 2500 oC unter kontrollierter Atmosphäre, Vakuum oder Luft gepresst.
- Die isostatische Kaltpressung ist für komplexe Produkte geeignet. Das vibrationsverdichtete Pulver wird in einer dünnen elastischen Hülle verschlossen und einem allmählichen hydrostatischen Druck der Flüssigkeit (bis zu 600 MPa) ausgesetzt.
- Der Vorteil liegt in der hohen Dichte und den isotropen Eigenschaften. Isostatisches Heißpressen ist geeignet, um einen porenfreien Zustand zu erreichen.

- Das Pulver im Metallbehälter wird unter Druck und Temperatur gesetzt. Als Druckmedium wird Argon verwendet.
- Das Heißpressen wird hauptsächlich für AL, Mg, Ag, etc. verwendet.
- In Sonderfällen können hydroimpulsive Pressung, Magnetfeldpressung, Sprengpressen, Spritzgießen, Extrusion, Gießen, Gefrierguss, Technologie des Hochdrucks, etc. eingesetzt werden.

Sinterung

- Das Sintern ist ein Verfahren zur Wärmebehandlung von verdichteten Partikeln oder Pulverpressen, bei dem das poröse Pressen unter dem Einfluss von Temperatur und Druck zu einem kompakten Körper wird.
- Die Gesamtkontaktfläche der Partikel wird vergrößert, die Porosität wird reduziert, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften werden verbessert, es kommt zu Volumenschwund.
- Die Sintertemperatur liegt zwischen 0,6 - 0,9 der Schmelztemperatur.
- Das Sintern kann unter Normaldruck oder unter Einwirkung externer Kräfte erfolgen. Das Sintern erfolgt in Elektroöfen mit kontrollierter Atmosphäre (Reduktions- oder Schutzgase, Vakuum).
- Die wichtigsten Sinterparameter sind Temperatur, Sinterzeit und kontrollierte Atmosphäre.

TECHNOLOGIE DES DRUCKGIEßENS VON METALLEN

1. Druckgusseigenschaften

1.1. Das Prinzip des Druckgusses

Druckguss ist eine Technologie der Gießereiindustrie, bei der geschmolzenes Metall mit hoher Geschwindigkeit und Druck aus der Gießkammer in den Blocker transportiert wird, wo der endgültige Guss erstarrt.

Die Geschwindigkeit des Kolbens, der die flüssige Legierung auf und ab treibt, arbeitet in m/s. Auf diese Weise wird die flüssige Legierung von der Gießkammer zum Blocker durch ein Angusssystem transportiert. Der Übergang zwischen Angusssystem und Blocker stellt eine Kerbe dar. Die Geschwindigkeit des Flüssiglegierungsstroms steigt in der Kerbe auf mehrere zehn Meter pro Sekunde. Die hohe Strömungsgeschwindigkeit ermöglicht es der flüssigen Legierung, die Gießkammer in einer Zeitspanne von Einheiten oder Zehntel Millisekunden zu füllen. Diese Methode der Hohlräumfüllung ermöglicht die Herstellung von dünnwandigen, komplex geformten Gussteilen mit hoher Maßgenauigkeit und mit präzisen Kopien des oberflächlichen Reliefs des Formhohlraums.

1.2. Technische und wirtschaftliche Aspekte des Druckgusses

Vorteile

- Eine mögliche Produktion von Gussteilen in kurzen Abständen,
- Eine große Anzahl von Gussteilen, die aus einer Form hergestellt werden.
- Mögliche Herstellung von komplex geformten und dünnwandigen Gussteilen
- Eine glatte Oberfläche von Gussteilen
- Eine geringe Abfallproduktion und damit geringere Kosten für das Einsatzmaterial.
- Möglicher Vorguss von Öffnungen mit kleinem Durchmesser bei geringer Bearbeitung
- Leichtguss von Einsätzen aus anderen Metallen oder Materialien
- Eine feinkörnige Struktur der Gussteile sorgt für gute mechanische Eigenschaften.

Nachteile

- Hohe Kosten für den Formenbau,
- Enorme Investitionen in Maschinen und entsprechende Geräte,
- Die maximale Größe der Gussteile ist durch die Größe der jeweiligen Maschine begrenzt.
- Druckgusslegierungen sind weniger dehnbar.
- Gussteile sind teilweise porös, können aber in ihrer Porosität eingeschränkt sein,
- Die Druckgusstechnik erfordert eine vorherige Berufserfahrung, daher ist ein qualifiziertes Personal erforderlich.

2. Druckgießmaschinen

Das Druckgießen von Metallen erfolgt auf Druckgießmaschinen, die technologisch unterteilt sind:

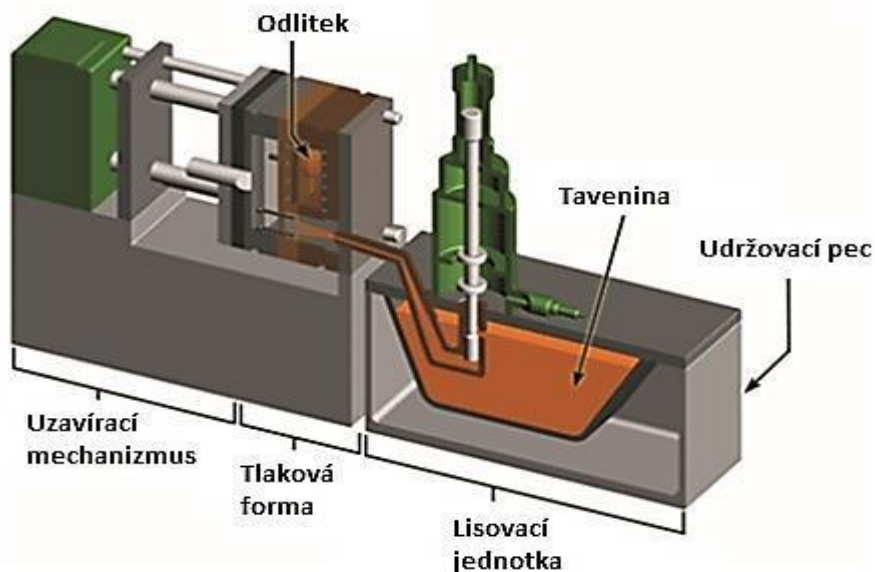
- Warmkammer-Druckgießmaschinen:
- Kolbenbasiert
- Luftbasiert

Kaltkammer-Druckgießmaschinen:

- Mit vertikaler Matrizenrüstung
- Mit horizontaler Matrizenrüstung

2.1. Warmkammer-Druckguss

Niedrigschmelzende Legierungen, wie z.B. Zinn, Blei und Zinklegierungen, werden in Heißkammeranlagen verarbeitet. Bei Verwendung dieser Art von Maschinen bildet der Ofen einen integralen Bestandteil der Maschine und geschmolzenes Metall wird durch einen Kolben oder ein luftbasiertes Pressverfahren 2 - 7 MPa direkt aus dem Becher in die Form gedrückt. In beiden Fällen wird die Kammer im Schwanenhals enger und endet mit einer Düse. Diese Düse wird auf die feste Matrizenhälfte, d.h. deren Öffnung, gedrückt. Der Kolben in seiner oberen, voreingestellten Position überlappt nicht die Einlassöffnung der Kammer und die Metallschmelze fließt durch diese Einlassöffnung vom Becher in die Kammer. Flüssiges Metall wird durch die Düse in die Form gedrückt. Dann folgt eine Zeitspanne, die einige Sekunden dauert und innerhalb derer das Metall im Formhohlraum zu einem Gussstück erstarrt. Nach Ablauf dieser Zeit kehrt der Kolben in seine Ausgangsposition zurück, während sich das Einlassloch der Kammer wieder öffnet. Die Kammer wird gleichzeitig mit einem weiteren Abschnitt aus geschmolzenem Metall und flüssigem Metall aus dem Schwanenhals gefüllt. Die bewegliche Matrizenhälfte, die auch das Gießen übernimmt, öffnet sich innerhalb dieser Aktivität. Das Gussstück wird aus dem Griff der Klemmen gelöst und ein Servicemitarbeiter nimmt es mit einer Zange oder einem anderen Werkzeug und legt es auf eine Palette. Wenn die Form offen ist, wird ihr Hohlraum mit einem Schmiermittel besprüht. Dann folgt das Schließen der Form und die Vorrichtung kehrt in ihre Ausgangsposition zurück und der gesamte Zyklus wiederholt sich.



Warmkammer-Druckgussmaschine

Obere Reihe von links nach rechts: Gießen, Metallschmelze, Ofen

Untere Reihe von links nach rechts: Schließeinheit, Matrizenbaugruppe, Spritzeinheit

2.2. Kaltkammer-Druckguss

Hochschmelzende Legierungen, d.h. Aluminium-, Magnesium-, Messing- und Eisenlegierungen, werden in Kaltkammer-Druckgießmaschinen verarbeitet. In diesem Fall ist der Ofen mit geschmolzenem Metall kein Teil der Maschine. Stattdessen wird es getrennt und geschmolzenes Metall in die Maschinenkammer eingespritzt, bevor der Formpressprozess stattfindet.

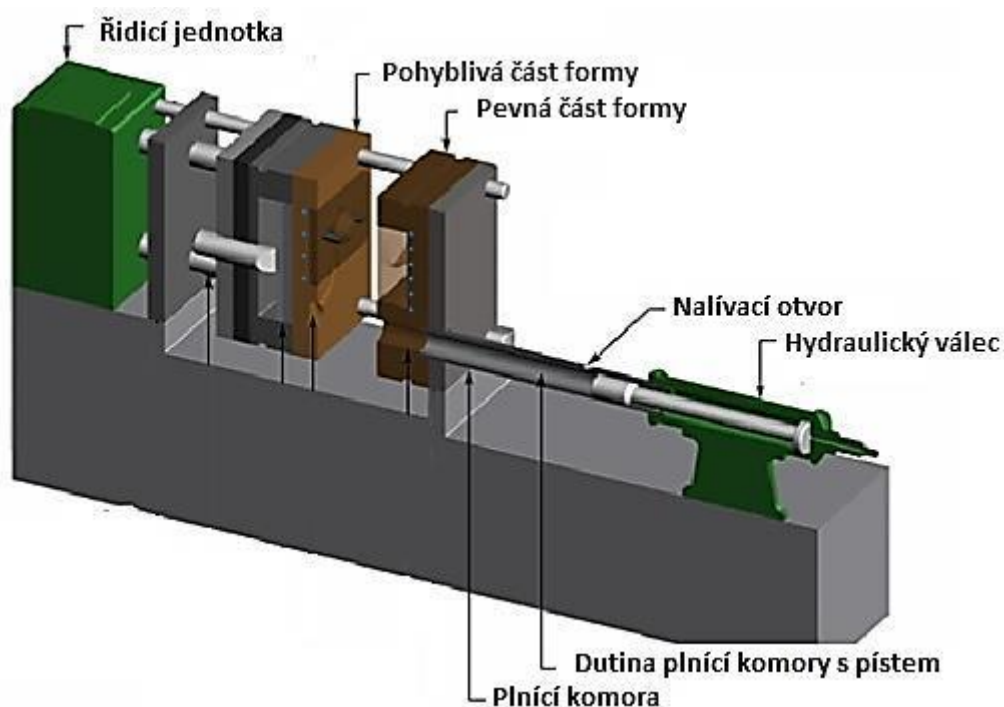
2.2.1. Vertikale Kaltkammer-Druckgießmaschinen

Sie bestehen aus einem vertikal angeordneten Zylinder, einer Düse, einem Hydraulikkolben und einem unteren Kolben mit einer Feder. Der Kolben befindet sich in seiner Standardposition, d.h. er überlappt aus der Kammer, in die flüssiges Metall gegossen wird. Der Hydraulikkolben bewegt sich nach unten und bewirkt, dass geschmolzenes Metall durch den unteren Kolben gedrückt wird, was bedeutet, dass die Düse freigelegt wird und flüssiges Metall durch sie in den Formhohlraum geleitet wird. Dann folgt ein Zeitraum, in dem sich das Metall im Formhohlraum verfestigt. Nachdem das Metall erstarrt ist, kehrt der Hydraulikkolben in seine Ausgangsposition zurück. Die Kraft der Druckfeder, die unter dem unteren Kolben angeordnet ist, bewirkt, dass sich der Kolben bewegt, die durch die Metallverfestigung entstandenen Metallscheiben in der Kammer

klemmt und die Platten aus der Kammer wirft. Dann öffnet sich die Kammer, das Gussteil wird herausgeworfen und schließlich wird der Formhohlraum mit einem Gleitmittel besprüht. Die Werkzeugkavität schließt sich und der Zyklus wiederholt sich.

2.2.2. Druckgießmaschinen mit einer horizontalen Kaltkammer

Das Verfahren basiert auf folgendem Prinzip: Die Kammer in ihrer horizontalen Position weist ein Gießloch auf, in das geschmolzenes Metall gegossen wird. In dieser Kammer bewegt sich ein Hydraulikkolben. Die Innenbohrung der Gießkammer sollte durch die feste Matrize laufen, halb so weit, wie die Teilungsebene liegt. Beim Gießen des Metalls befindet sich der Hydraulikkolben in seiner hinteren Position, damit das Gießloch freigegeben werden kann. Die Bewegung des Kolbens drückt die Metallschmelze in den Formhohlraum. Nach Abschluss des Pressformprozesses beginnt sich der Formhohlraum zu öffnen, während der Kolben die Metallplatte aus der Gießkammer herausdrückt. Nach Beendigung der Öffnung kehrt der Kolben in seine hintere Position zurück. Wenn der Formhohlraum geöffnet ist, wird das Gussteil entfernt und der Hohlraum mit einem Gleitmittel besprüht. Dann schließt sich die Kavität und der Zyklus wiederholt sich.



Horizontale Kaltkammer-Druckgießmaschine

Obere Reihe von links nach rechts: Schließeinheit, bewegliche Werkzeughälfte, feste Werkzeughälfte, Gießloch, Hydraulikzylinder

Untere Reihe von links nach rechts: Gießkammer, Gießkammer, Gießhülse

3.Hauptbauknoten von Druckgießmaschinen

Druckgießmaschinen müssen leistungsfähig sein:

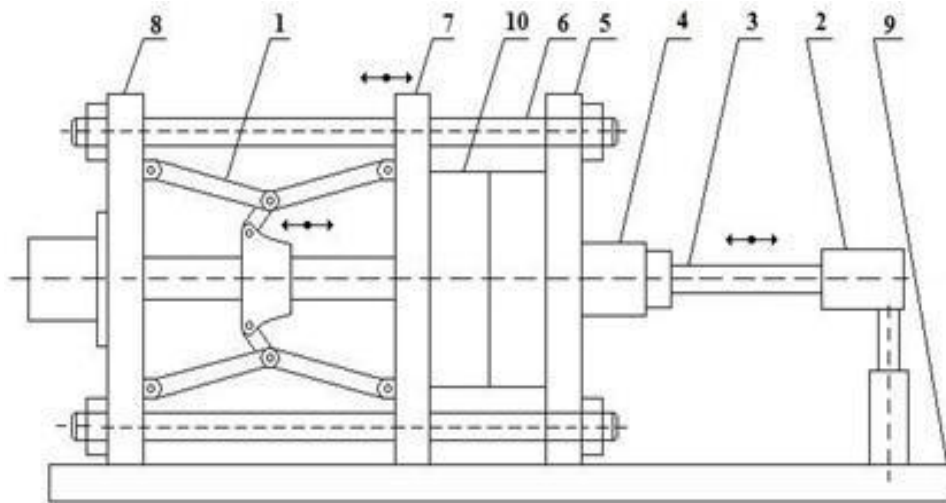
- Sicheres Schließen der Form
- Formpressen von Metall
- Verfestigung von Gussteilen
- Öffnen der Form
- Entfernen von Kernen
- Entnahme von Gussteilen aus der Form

Um diese Arbeiten sicher durchführen zu können, bestehen Druckgießmaschinen aus diesen Hauptteilen:

- Maschinenkraftstoff
- Schließeinheit
- Pressformmechanismus
- Maschinenrahmen
- Hydraulische Gitter
- Maschinenhaube
- Steuerungssystem

Hauptbauknoten von horizontalen Kaltkammer-Druckgießmaschinen

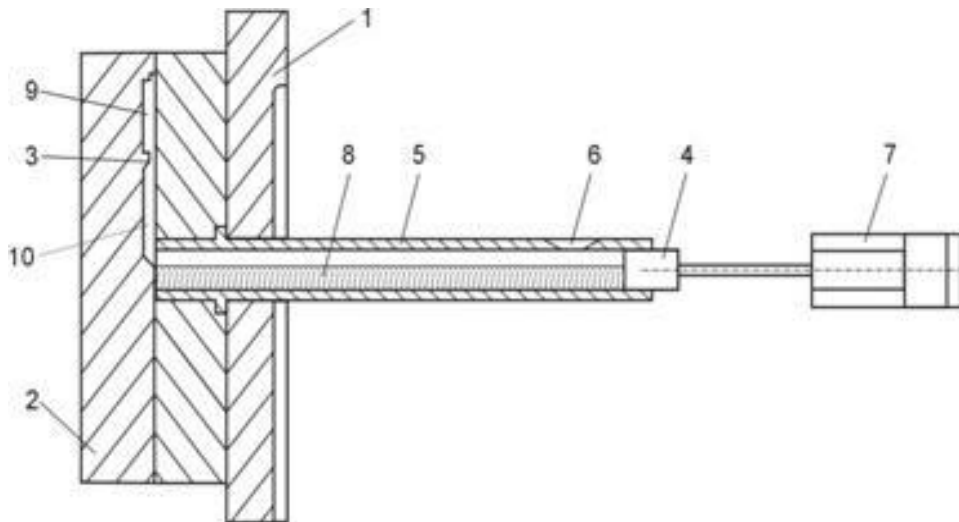
1. Schließeinheit
2. Pressformmechanismus
3. Presskolben mit Zylinder
4. Schusskammer
5. Vordere Klemme
6. Führungsstange
7. Bewegliche Klemme
8. Hintere Klemme
9. Stationärer Abschnitt
10. Form



3.1. Pressformmechanismus

Seine Hauptaufgabe ist es, geschmolzenes Metall mit einer hochspezifizierten Geschwindigkeit innerhalb der Erstarrungszeit unter Anwendung von hohem Druck in einen Formhohlraum zu fördern.

1. vordere Klemme
2. Form
3. Einlasskerbung
4. Hydraulikkolben
5. Schusskammer
6. Gießloch
7. Hydraulikzylinder
8. Flüssigmetall
9. Formhohlraum
10. Anguss



3.2. Spanneinheiten

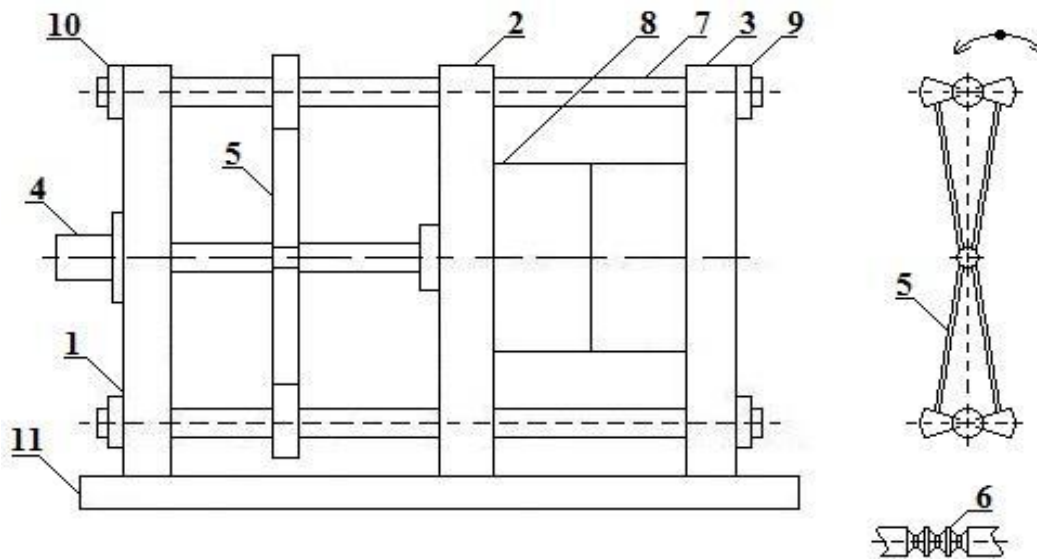
In Bezug auf die Konstruktion werden die Klemmeinheiten unterteilt in:

- hydraulische Schließeinheit
- mechanische Schließeinheit
- hydraulisch-mechanische Schließeinheit
- elektrische Schließeinheit

Hydraulisch-mechanische Schließeinheiten

1. hintere Klemme
2. bewegliche Klemme
3. vordere Klemme
4. geradliniger Hydraulikmotor
5. drehbare Klemmen mit modellierten Vorsprüngen
6. Kerbstäbe
7. Stange
8. Form
9. Vordere Mutter
10. Gegenmutter
11. stationärer Abschnitt

Das Schließen der Form erfolgt durch ein kraftloses Verfahren des Hydraulikzylinders. Das sichere Schließen und Befestigen der Form erfolgt durch zwei rotierende Klammern und Formprojektionen, die in die Kerbstäbe passen.



3.3. Kraftstoff für die Druckgießmaschine

Druckgießmaschinen verwenden Hydrauliköl. Ältere Maschinen nutzten Wasserdampf zur Erzeugung von Druckenergie, heute ist es Mineralöl, d.h. wasserbasierte Flüssigkeit - Glykol, das am häufigsten verwendet wird.

Der Kraftstoff wird von einer Pumpe betrieben, die in einem Druckmodus bis zu 4,5 MPa arbeitet.

Konstruktiv sind die Pumpen wie folgt unterteilt:

- Kolbensteuerungspumpe
- Schaufelsteuerungspumpe
- Schraubenregelungspumpe

4. Druckgießformen

4.1. Hauptteile einer Form

Die Form ist dafür verantwortlich, das verarbeitete Material in der gewünschten Form herzustellen und auf eine solche Temperatur abzukühlen, dass das Gussteil fest genug ist, um ohne Verformung aus der Form entfernt zu werden. Formen müssen hochdruckfest sein, Produkte mit genauen Abmessungen herstellen können und die Entnahme des Gussteils ermöglichen.

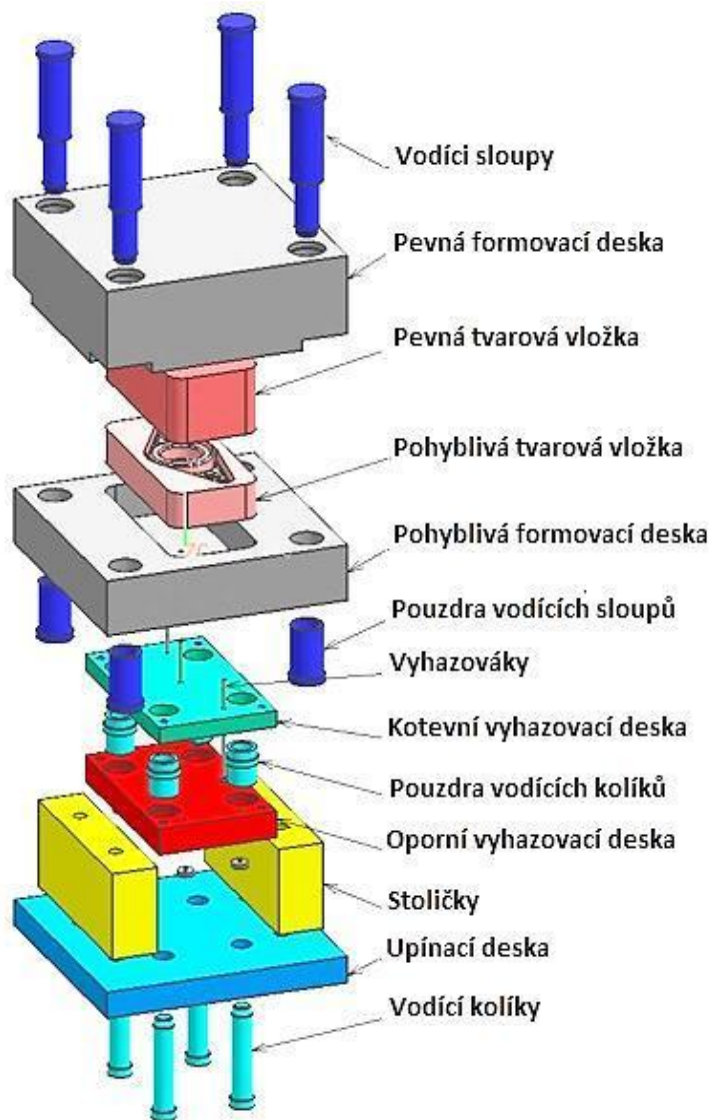


Bild (von oben nach unten): Führungsstangen, feste Matrizenhälfte, fester Modelliereinsatz, beweglicher Modelliereinsatz, bewegliche Matrizenhälfte, Führungsstangenbuchsen, Auswerferstifte, Kernauswerferplatte, Führungsbuchse, Kernrückplatte, Distanzstü-

cke, Klemmplatte, Führungsbolzen

Die Form besteht aus diesen Hauptteilen:

- Komponenten zur Modellierung des Formhohlraums
- Kühlung, d.h. Temperatursystem
- Angusssystem
- Auswurfsystem
- Entlüftungssystem
- Spann- und Führungselemente

Grundsätzlich lassen sich die Hauptteile der Form in Konstruktions- und Funktionsteile unterteilen. Konstruktionsteile sind für das reibungslose Funktionieren der Form verantwortlich und funktionale sorgen für die Verarbeitung und Modellierung des Materials.

4.2. Der Formhohlraum

Der Formhohlraum ist entscheidend für das reibungslose Funktionieren der Form. Der Formhohlraum ist identisch mit der Form des gewünschten Gussteils; der Formhohlraum unterscheidet sich jedoch in den Verhältnissen, die um einen Schrumpfungswert des Materials höher sein müssen. Der Formhohlraum bewirkt, dass das Material dort abkühlt. In Bezug auf seine Eigenschaften wäre es anwendbar, dass der Kühleffekt alle Teile des Gussteils mit gleicher Geschwindigkeit beeinflusst. Um dies zu gewährleisten, ist es notwendig, darauf zu achten, dass der Temperaturbereich des Hohlraums homogen ist. Die Folge ungleicher Abkühlung ist die vorzeitige Verfestigung des Materials an kälteren Stellen. Infolgedessen bilden diese Stellen eine dickere Oberflächenschicht auf dem erstarrten Material, was eine signifikante Verringerung seines Querschnitts bedeutet, durch den das geschmolzene Material in andere Teile des Hohlraums läuft. Darüber hinaus wird die Form an verschiedenen Stellen mit unterschiedlichen technologischen Bedingungen gefüllt, was zu unterschiedlichen Eigenschaften des Gussteils an der jeweiligen Stelle führt. Die ungleiche Kühlung führt dabei zu einer inneren Spannung, die das Endprodukt schädigen kann.

4.3. Temperatursystem

Temperatursystem ist ein System von Kufen und Hohlräumen, durch das ein Kühlmedium läuft. Dieses System regelt die Werkzeugtemperatur auf einen bestimmten Wert.

Das Temperatursystem ist in separate Segmente unterteilt, die entsprechend der Art

und Weise, wie das Gussteil in der Form modelliert wird, und entsprechend der Position der Trennfläche gestaltet sind. Die Konstruktion des Einsatzes von Temperaturkanälen und deren Proportionen muss die Gesamtkonstruktion der Form berücksichtigen und ihr Einsatz muss der gleichen Verfestigung des Gussteils über sein gesamtes Volumen entsprechen. Der Querschnitt der Kufen ist in der Regel kreisförmig, es gibt aber auch Kufen mit rechteckigem Querschnitt.

Die Formtemperatur und das thermische Gleichgewicht der Druckgießformen beeinflussen die Qualität der Gussteile erheblich und verlängern zudem die Lebensdauer der Form. Das Kühlsystem der Formen muss so ausgelegt sein, dass Fehler durch ungünstige Temperaturen vermieden werden.

Daher müssen im Hinblick auf das Temperatursystem spezielle Kufen im Werkzeug hergestellt werden. Der Laufraddurchmesser ist abhängig von der Dicke der Gussteilwand.

4.4. Angusssystem

Das Angusssystem besteht aus einfachen oder komplexen Kufen, die Formhohlräume mit Gießkammern verbinden. Das Angusssystem steuert die ordnungsgemäße Befüllung des Formhohlraums, die klare Trennung oder den Abtransport des Restmaterials. Das Angusssystem ist entsprechend den Werkzeugkavitäten und deren Einsatz ausgelegt. Der Anguss verlängert den Fließweg des geschmolzenen Metalls in die Form, was zu einer Absenkung der Temperatur und einer Verringerung der Druckfestigkeit führt. Aus diesem Grund ist es bei der Konstruktion von Formen notwendig, die Kufen so kurz wie möglich und die Querschnitte so groß wie möglich zu gestalten.

Das Angusssystem sollte so ausgelegt sein, dass es den folgenden Anforderungen entspricht:

- geeignete Füllung des Formhohlraums
- Um den Metallfluss in den Formhohlraum zu lenken, damit seine Wände nicht vorzeitig abgenutzt werden.
- Begrenzung des lokalen Temperaturanstiegs, der zu übermäßigem Verschleiß und Verschlechterung der Oberflächenreinheit des Gussteils führen würde.
- Um Wirbelbäder im Metallfluss so weit wie möglich zu vermeiden, führen Wirbelbäder zu einer Gasbildung im Gusssteil.
- Die erforderliche Form- und Oberflächenqualität des Gussteils.

4.5. Auswerfersystem

Da Gussteile während des Kühlvorgangs zum Schrumpfen neigen, bleiben sie mit den Modellteilen des Formhohlraums verklebt; daher ist es notwendig, ein Auswurfsystem zum Auswerfen des Gussteils vorzusehen. Ein solches System ist in der Regel mechanisch, aber auch pneumatische und hydraulische Systeme können eingesetzt werden. Im Großen und Ganzen werden oft verschiedene Entleerungssysteme in Kombination eingesetzt.

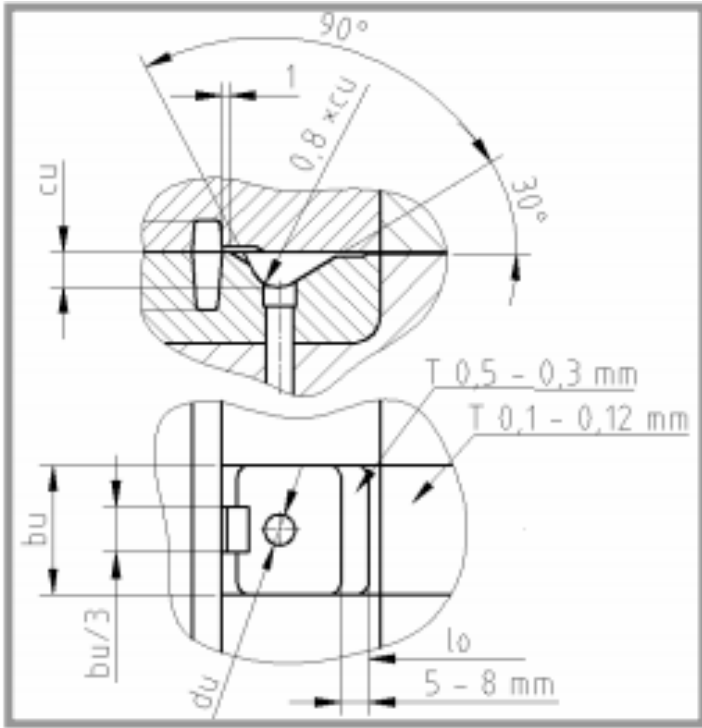
Die Auswerferkräfte werden aus Berechnungen des spezifischen Drucks zwischen Form und Gussteil abgeleitet; außerdem können sie aus der thermischen Abhängigkeit vom Reibungskoeffizienten zwischen beiden Formhälften und aus den Anteilen des Gussteils berechnet werden.

Spann- und Führungselemente

Diese beziehen sich auf einen Konstruktionsteil von Maschinen, die dafür sorgen und sorgen, dass Formteile zusammenpassen und beweglich sind.

4.6. Entlüftungssystem

Die Entlüftung eines Modellhohlraums ist von großer Bedeutung. Da die Formpressdauer relativ kurz ist und der Formpressprozess mit hoher Geschwindigkeit und hohem Druck abläuft, wäre es für die Luft im Formhohlraum unmöglich, durch Formleckagen in der Teilungsebene auszulaufen. Dies würde zu einer unvollständigen Füllung des Formhohlraums und zu einem kritischen Druckanstieg im Hohlraum führen. Dabei ist es notwendig, durch die Implementierung eines Systems von Entlüftungskanälen sicherzustellen, dass die Luft effektiv aus dem Formhohlraum abgelassen wird. Diese Kanäle dürfen jedoch keine Grate am Gussteil verursachen.



5. Methodik zur Entwicklung von Anschlittsystemen

Der Entwurf von Angussystemen eines Formhohlraums besteht aus folgenden Schritten:

- Analyse des Flüssigmetallflusses
- Wahl des am besten geeigneten Ortes für die Platzierung der Einlasskerbung und des Entlüftungssystems
- Berechnung der maximalen Zeit für die Formhohlraumfüllung und der Metallströmungsgeschwindigkeit in der Einlaufkerbe
- Aufteilung des Gussteils in Angussteilsegmente
- Bestimmung des Volumens von Überläufen
- Berechnung der Gesamtfläche der Einlaufkerbe und der Wahl der Kerbhöhe
- PQ 2-Analyse und die Schließkraft der Maschine
- Füllzeit des Formhohlraums und die Fläche der Kerbe, berechnet aus einzelnen Segmenten.
- Wahl des Kerbtyps, der Art des Angusses und seiner Form

5.1. Analyse des Flüssigmetallflusses

Die ideale Form eines Gussteils ermöglicht es, dass flüssiges Metall durch klar definierte und direkte Wege in den Formhohlraum fließen kann. Allerdings ist es nur in den seltensten Fällen möglich, eine so ideale Form zu entwerfen, die diesen Anforderungen, insbesondere Angüssen und Ausklinkungen, gerecht wird. Tatsächlich erfordern reale Bedingungen Kompromisse. Designer sollten nicht nur den technologischen, sondern auch den gießereiwirtschaftlichen Aspekt berücksichtigen. Der Prozess der Gestaltung des Angussystems erfordert Beratung und Diskussionen mit Mitarbeitern, die im Bereich des Druckgusses erfahren sind und auch den praktischen Aspekt des Konstruktionsprozesses berücksichtigen. Als Ergebnis müssen die Konstrukteure einen akzeptablen Kompromiss zwischen der geforderten Form, der idealen Form und den Beobachtungen der Experten finden und so den bequemsten Weg für den Fluss des flüssigen Metalls finden. Es ist hauptsächlich dieser Weg (Methode), der die Position der Einlasskerbe bestimmt.

5.2. Wahl des am besten geeigneten Ortes für die Einlass- und Entlüftungskerbe

Alle in der Gießereiindustrie verwendeten, bisher bekannten Legierungen neigen während des Verfestigungs- und Abkühlungsprozesses zum Schrumpfen. Wenn dieses Problem nicht richtig angegangen wird, d.h. bei der Konstruktion der Form nicht berücksichtigt wird, zeigen Endgüsse verschiedene Fehler, die durch Schrumpfung während des Erstarrungsprozesses verursacht werden. Diese Defekte werden als Hohlräume im Gussteil (höhere Porosität) und als Hohlräume mit unterschiedlichen Anteilen nachgewiesen.

Bei der Durchführung von Sandguss, Kokillenguss, Niedrdruckguss und Feinguss wird das Formschrumpfen mit einem um einen dem Schrumpfen entsprechenden Wert erhöhten Volumen der Form ausgelöst. Das Ergebnis ist, dass das Endprodukt auch nach dem Schrumpfen die erforderlichen proportionalen Eigenschaften aufweist. Diese Volumenzunahme wird durch so genannte Feederheads nachgewiesen. Zuführköpfe sind kegelförmige Vorsprünge, die sich über dem am schwersten zugänglichen Abschnitt befinden und in dem das Gussteil seine Verfestigung vollendet.

Der Druckguss ist eine Ausnahme unter den Technologien der Gießereiindustrie, da die Zuführköpfe im Blocker nicht vorhanden sind. Tatsächlich wird der Schrumpf durch Injektion eliminiert; aus diesem Grund ist es notwendig, das Angusssystem so zu gestalten, dass die Schmelze den Druck bei minimalen Verlusten so lange wie möglich übertragen kann. Die Konstrukteure müssen das Druckgefälle und die Prozesse im Formhohlraum von der Einlasskerbe bis hin zu den Absaugungen berücksichtigen.

Praktisch und praxisnah ist es, ein Angusssystem so zu gestalten, dass sich die Kerbe in der Trennebene der Form befindet, während sich das Entlüftungssystem gegenüber befindet. Eine effektive Lösung besteht darin, den Anguss und die Absaugungen so zu platzieren, dass das flüssige Metall im Blocker über möglichst kurze Wege fließen sollte.

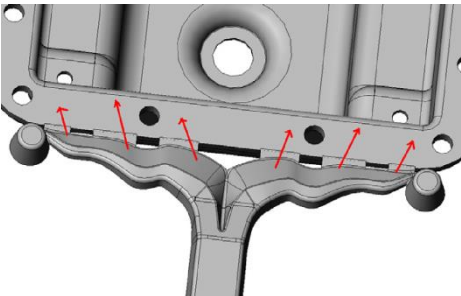
Das tangentielle Angusssystem ermöglicht einen direkten Fluss des flüssigen Metalls, während die fächerförmige Einlassmündung nur geringe oder keine Steuerungsmöglichkeiten zulässt.

Beide Arten von Angusssystemen können mit einem mehrfachen oder geteilten Anguss verwendet werden. Wenn das Gussteil in mehrere Abschnitte mit unterschiedlicher Wanddicke unterteilt ist, kann jeder Abschnitt mit einer Kerbe versehen werden.

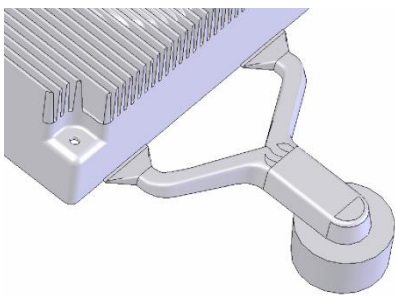
Wenn möglich, ist es bei der Konstruktion eines Anschnittsystems zweckmäßig, die Situation zu vermeiden, dass sich zwei verschiedene Ströme von eingespritztem Metall vor den Einlaufkerben treffen. Diese Situation ist sehr ungünstig, kann aber nicht immer vermieden werden. In einer solchen Situation sollte die Einlasskerbe vom inneren Teil des Gussteils aus platziert werden. Die Schwachstellen beim Bau eines zentralen

Anschnittsystems sind insbesondere das Fehlen mehrerer Hohlräume und eine zu lange Konstruktion von Anschnittsystemen, die dazu führt, dass die Geschwindigkeit des Flüs-

sigmetallflusses abnimmt, bevor er in den Formhohlraum gelangt ist.



Tangenciales Anchnittsystem



Fächerförmiges Anchnittsystem

6. Technologische Faktoren des Druckgusses

Die Qualität von Druckgussteilen wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Aus konstruktiver Sicht ist es vor allem eine gute Gestaltung der Kokille, ihres Angussystems, des Entlüftungssystems, des Temperatursystems und der Wahl einer geeigneten Pressmaschine, die die Qualität der Gussteile beeinflusst. Darüber hinaus spielen eine bestimmte Art von Druckgusslegierung, deren metallurgische Verarbeitung, Wartung, Zustand und Schmierung von Werkzeugkavitäten und nicht zuletzt der Maschinenservice eine wichtige Rolle. Eine separate Gruppe von Faktoren sind technologische Parameter des Druckgusses. Diese können wie folgt in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Parameter des Pressformsystems
- Temperaturparameter des Druckgussprozesses
- Parameter, die sich aus den Eigenschaften der flüssigen Legierung ergeben.

6.1. Parameter des Pressformsystems

Die Hauptaufgabe des Pressformmechanismus besteht darin, die flüssige Legierung gemäß den technologischen Parametern in den Formhohlraum zu transportieren und zu formen, um eine reibungslose und vollständige Füllung des Formhohlraums zu ermöglichen. Diese Parameter sind wie folgt:

- Formpressgeschwindigkeit in der Gießkammer
- Spezifischer Druck auf die flüssige Legierung und die Einspritzung
- Zeitspanne der Formhohlraumfüllung

6.2. Temperaturparameter des Druckgussprozesses

Temperaturparameter beeinflussen die flüssige Legierung signifikant, vom Durchlauf durch die Formpresse über die Dosierzeit bis zur Erstarrung des Gussteils und der Entnahme aus dem Formhohlraum. Diese Parameter sind wie folgt:

- Temperatur der geschmolzenen Legierung
- Temperatur in der Schrottkammer
- Temperatur der Form

6.3. Parameter, die sich aus den Eigenschaften der flüssigen Legierung ergeben.

Die Eigenschaften der flüssigen Legierung und das Verfahren zu ihrer Herstellung beeinflussen die Qualität des Gussteils erheblich. Die grundlegenden technologischen Parameter, die sich aus den Eigenschaften der flüssigen Legierung ergeben, sind die folgenden:

- Tendenz zur Vergasung
- Tendenz zu Kontraktionen

7. Technologische Faktoren, die die mechanischen Eigenschaften von Gussteilen beeinflussen

7.1. Experimentelle Proben

- Elektromotorischer Flansch (Abb. 1)
 - bleibende Verformung
 - Härte
- Prüfstab (Abb. 3)
 - s Zugfestigkeitsgrenze - R_m
 - HB-Duktilität - A5

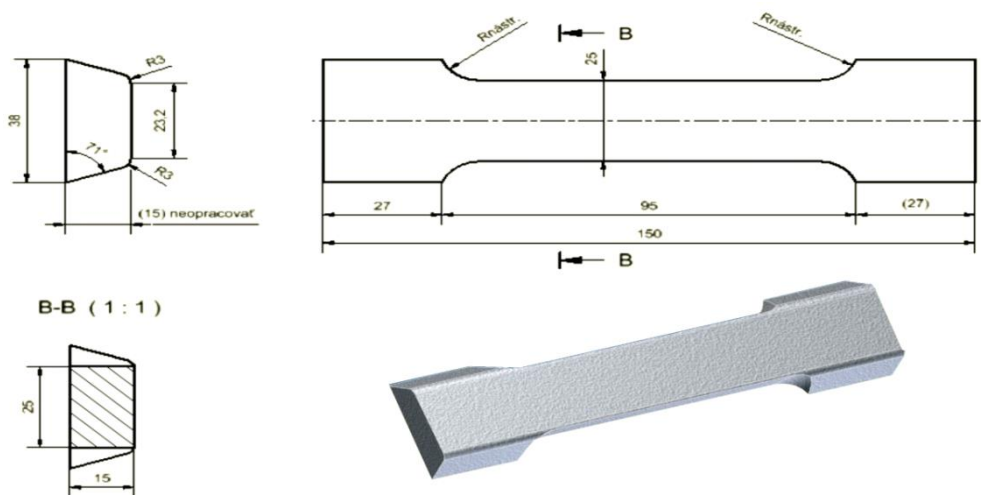


Bild. 1 Elektromotorischer Flansch
Text zum Bild: kritischer Punkt im Gussteil



Bild. 3 Prüfstab

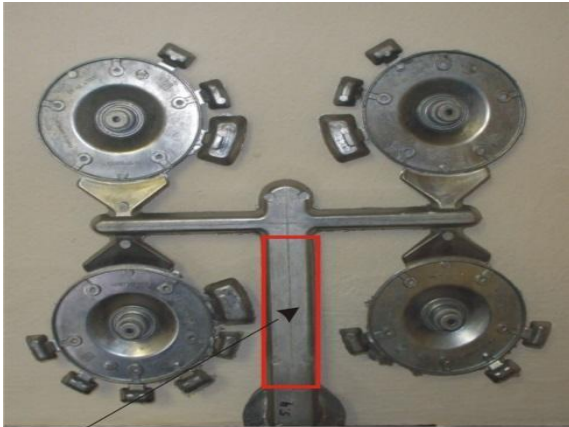


Bild. 2 Stelle, an der der Prüfstab entnommen wird

Text zum Bild: Ort der Entnahme der Versuchsprobe

miesto odobratia skúšobnej vzorky

7.2. Merkmale der betrachteten Faktoren

Der Einfluss von zwei Faktoren wurde basierend auf den mechanischen Eigenschaften berücksichtigt:

1. Faktor - Geschwindigkeit des Hydraulikkolbens:

$$v_1 = 1,9 \text{ m.s}^{-1} \quad v_4 = 2,9 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_2 = 2,3 \text{ m.s}^{-1} \quad v_5 = 3,2 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_3 = 2,6 \text{ m.s}^{-1}$$

2. Faktor - Einspritzung:

$$p_1 = 13 \text{ MPa}$$

$$p_2 = 22 \text{ MPa}$$

$$p_3 = 25 \text{ MPa}$$

Konstante Faktoren:

- Temperatur der Flüssiglegierung - 708 °C
- Temperatur der Form - 199 °C
- Zeitraum der Formhohlraumfüllung - 0,019 s

Analyse der Geschwindigkeit der flüssigen Legierung in der Anguss- und Einlasskerbe:

Registerkarte 2 Die Geschwindigkeit der flüssigen Legierung in der Anguss- und Einlasskerbe wird durch die Kontinuitätsgleichung bestimmt.

Geschwindigkeit des Hydraulikkolbens (m.s-1)	Geschwindigkeit der flüssigen Legierung im Anguss (m.s-1)	Geschwindigkeit der flüssigen Legierung in der Einlasskerbe[m.s-1]
1,9	14,78	36,58
2,3	17,89	44,28
2,6	20,23	50,05
2,9	22,56	55,83
3,2	24,9	61,60

7.3. Analyse der mechanischen Eigenschaften

Bewertung der Zugfestigkeitsgrenze:

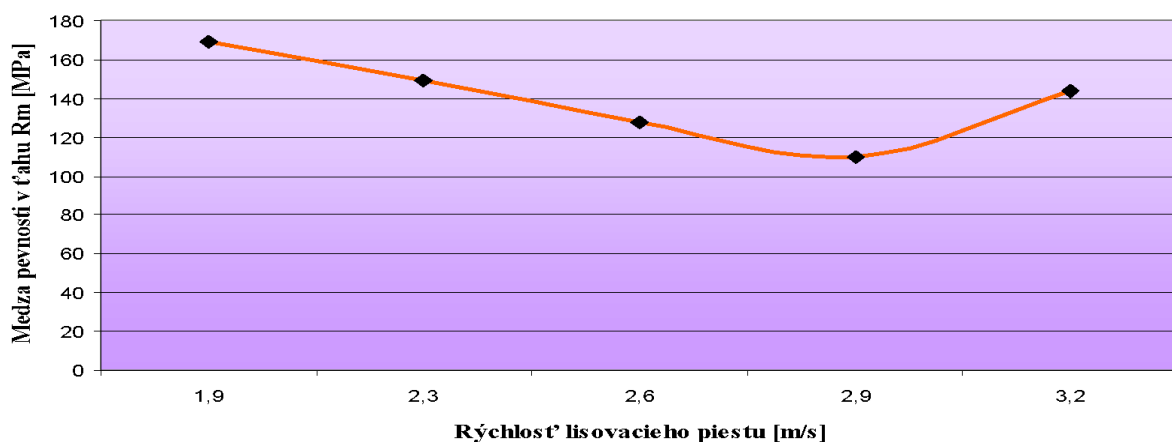


Bild. 4 Abhängigkeit der Zugfestigkeitsgrenze R_m über die Änderung der Formpressgeschwindigkeit des Kolbens
 Vertikaler Text: Zugfestigkeitsgrenze R_m MPa
 Horizontaler Text: Geschwindigkeit des Hydraulikkolbens (m/s)

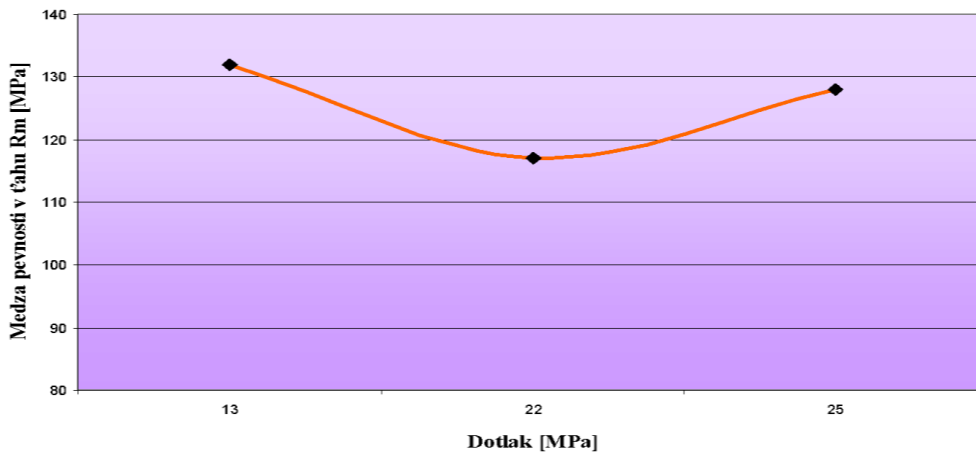


Bild. 5 Abhängigkeit der Zugfestigkeitsgrenze Rm zur Änderung der Einspritzung
 Vertikaler Text: Zugfestigkeitsgrenze Rm Mpa
 Horizontaler Text: Einspritzung

Bewertung der Duktilität

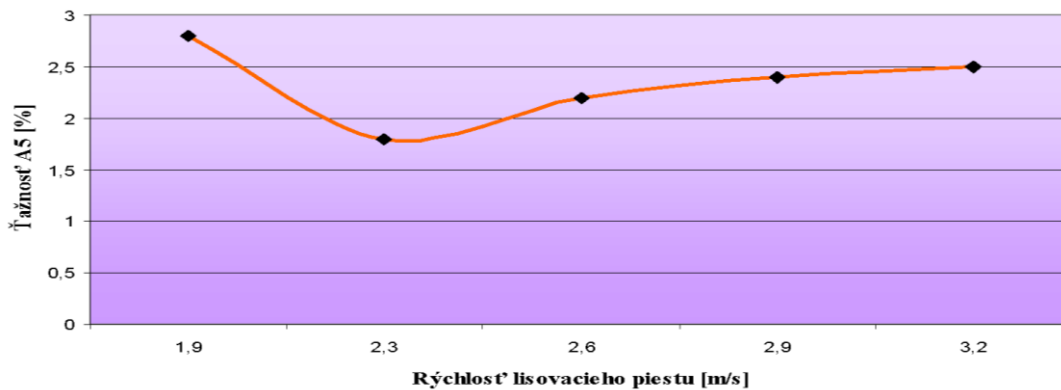


Bild. 6 Abhängigkeit der Duktilität A5 von der Änderung der Drehzahl des Hydraulikkolbens
 Vertikaler Text: Duktilität A5 (%)
 Horizontaler Text: Geschwindigkeit des Hydraulikkolbens (m/s)

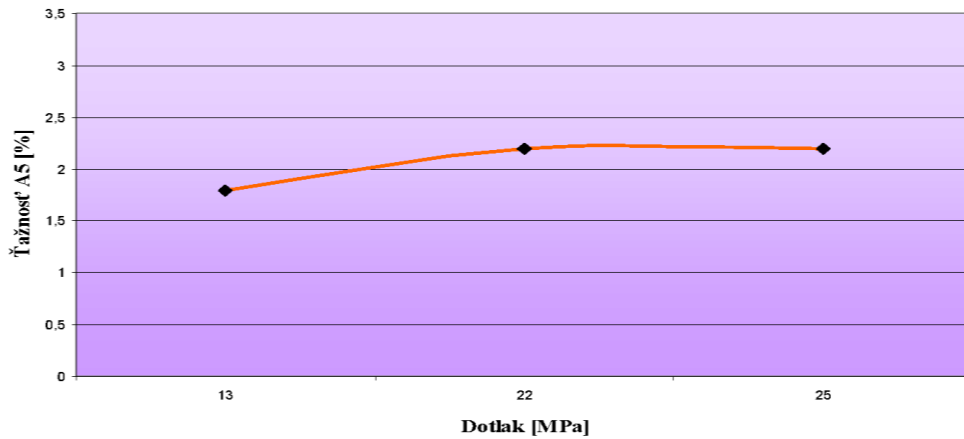


Bild. 7 Abhängigkeit der Duktilität A5 von der Änderung der Einspritzung
 Vertikaler Text: Duktilität A5 (%)
 Horizontaler Text: Injektion (Mpa)

Bewertung der Härte:

- Ausführung nach Brinell auf dem Messgerät HPO 250 (Abb. 8)

Messbedingungen:

Marmordurchmesser $D = 2,5 \text{ mm}$

Lastkraft $F = 613 \text{ N}$

Ladezeit $t = 10 \text{ s}$



Bild. 8 Messmittel HPO 250

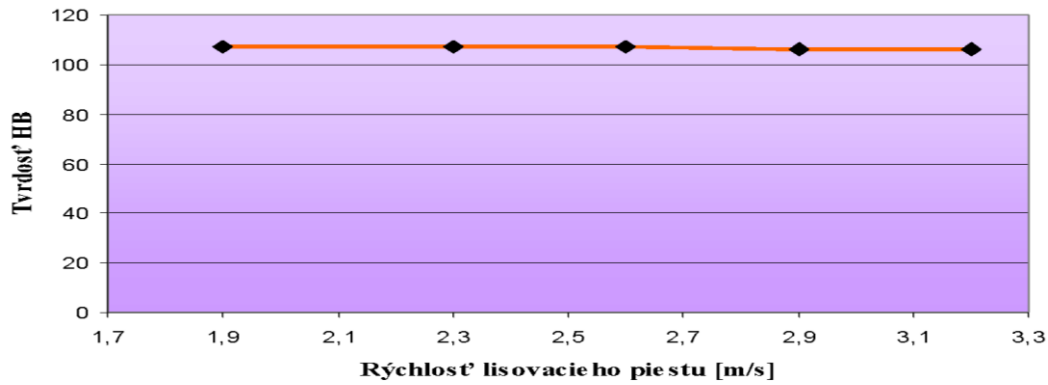


Abb.9 Abhängigkeit der Härte HB von der Änderung der hydraulischen Kolbengeschwindigkeit

Vertikaler Text: Härte HB

Horizontaler Text: hydraulische Kolbengeschwindigkeit (m/s)

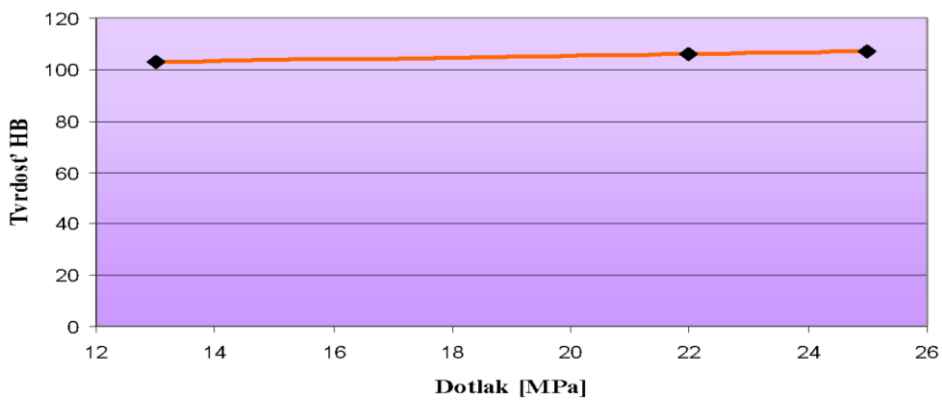


Abb. 10 Abhängigkeit der Härte HB von der Einspritzänderung

Vertikaler Text: Härte HB

Horizontaler Text: Injektion (MPa)

Bewertung der bleibenden Verformung

- Die statische Druckprüfung wurde an der Anlage TIRAtest 28200 (Abb. 11) gemessen.



Bild. 11 Messmittel TIRAtest 28200



Bild. 12 Laden des Versuchsplatzes im Guss

Versuchsbedingungen:

- Lastkraft $F_a = 16 \text{ kN}$
- Kraft nach Entlastung $F_m = 8 \text{ kN}$
- Lastgeschwindigkeit $v = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

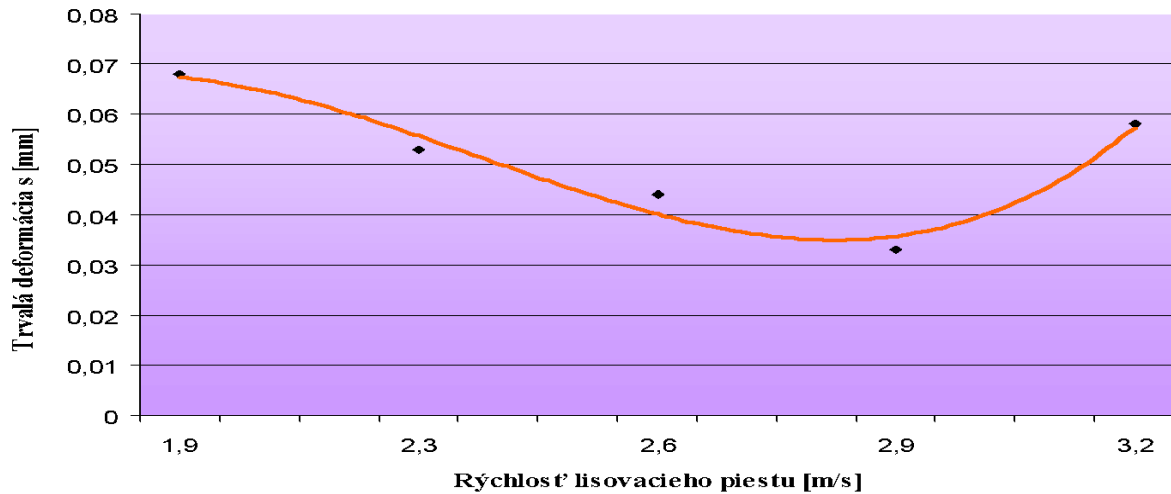


Bild. 13 Abhängigkeit der bleibenden Verformung s von der Änderung der hydraulischen Kolbengeschwindigkeit

Vertikaler Text: dauerhafte Verformung

Horizontaler Text: hydraulische Kolbengeschwindigkeit (m/s)

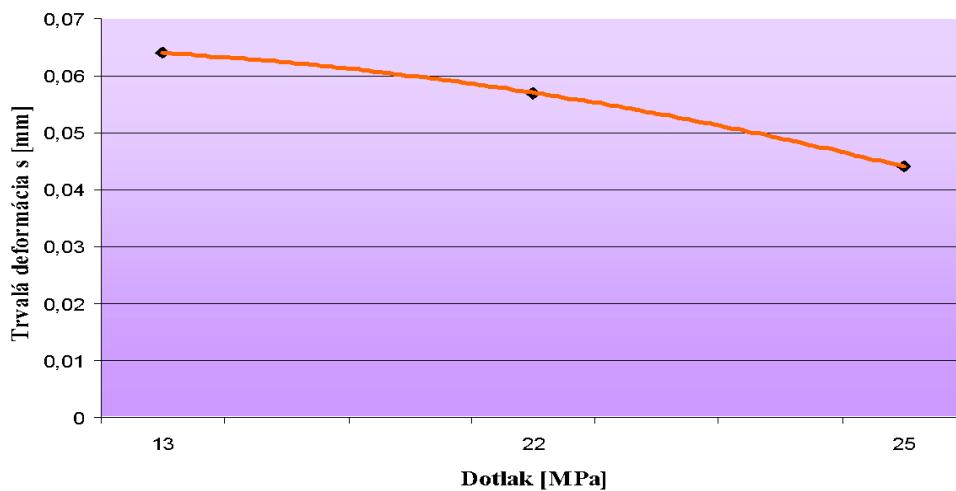


Bild. 14 Abhängigkeit der bleibenden Verformung s von der Einspritzänderung

Vertikaler Text: dauerhafte Verformung

Horizontaler Text: Injektion (MPa)

7.4. Analyse der inneren Homogenität

Die innere Homogenität in Gussteilen trat bei ausgewählten Gussteilen an Stellen auf, an denen die bleibende Verformung gemessen wurde, um die erhaltenen Ergebnisse der bleibenden Verformung mit Röntgenbildern zu vergleichen - Gerät RTG VX1000D.



Bild. 15 Röntgenbildprobe Nr. 4.2, $v = 2,9 \text{ m.s-1}$

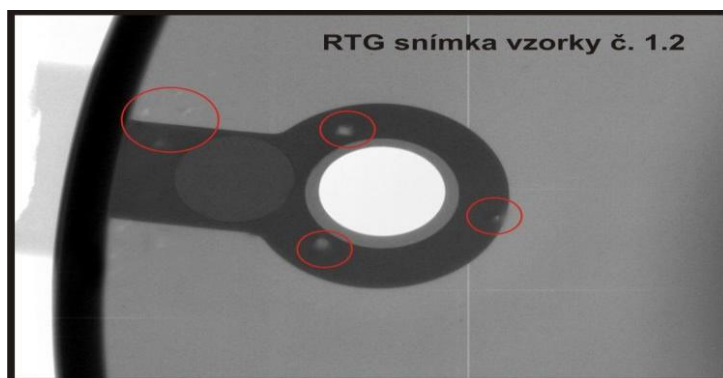


Bild. 16 Röntgenbildprobe Nr. 1.2, $v = 1.9 \text{ m.s-1}$

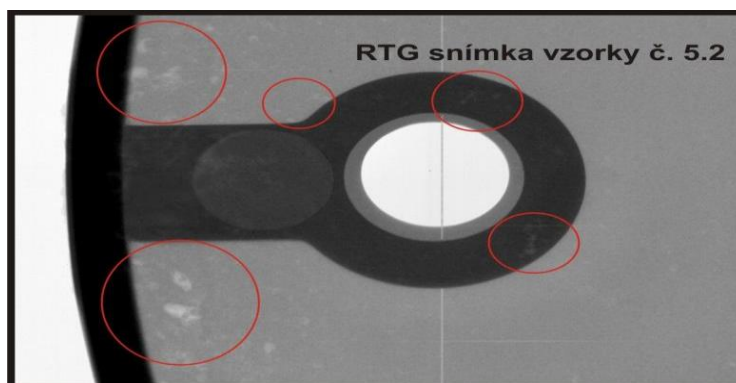


Bild. 16 Röntgenbildprobe Nr. 5.2, $v = 3.2 \text{ m.s-1}$

7.5. Makro- und Mikroskopie-Analyse

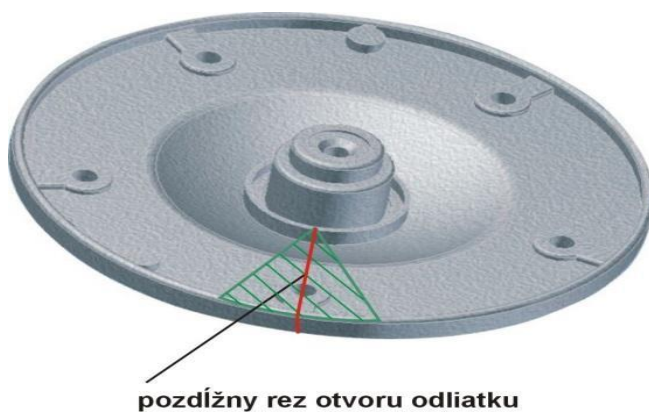
Die mikroskopische und metallographische Analyse wurde zur Untersuchung der Inhomogenität mechanischer Eigenschaften eingesetzt.



Der längliche Schnitt in der Nähe der Frakturen

Der Raum der Fraktur

Abb. 18 Das Schema der Probenahme zur Beurteilung der Porosität des Prüfbalkens



Der längliche Schnitt des Gusslochs

Abb. 19 Das Schema der Probenahme zur Beurteilung der Porosität des Gussteils

Die Analyse der Porosität der aus den Proben gewonnenen metallographischen Schnitte wurde im OLYMPUS GX51-Mikroskop mit einer Zoomrate von 100 durchgeführt und mit dem Computerprogramm ImageJ verarbeitet (Abb. 20).

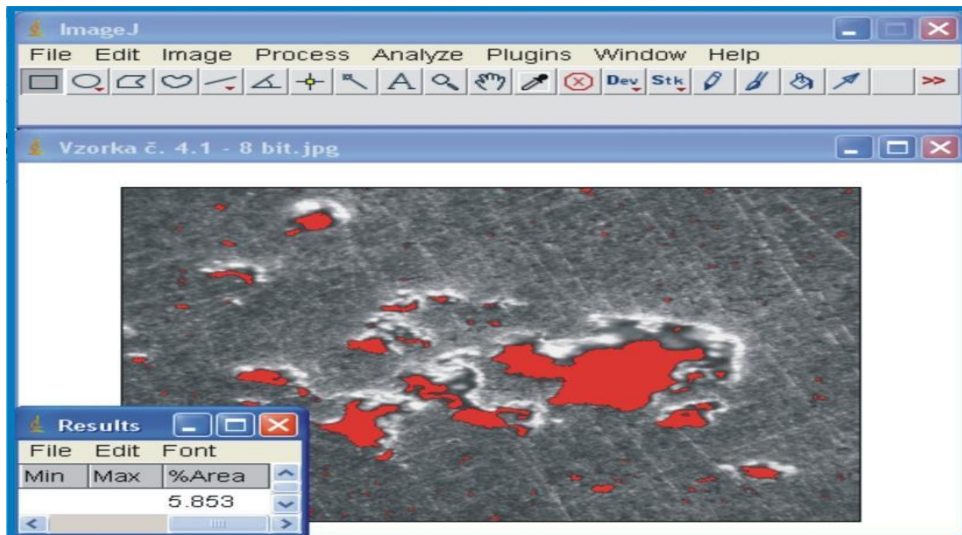
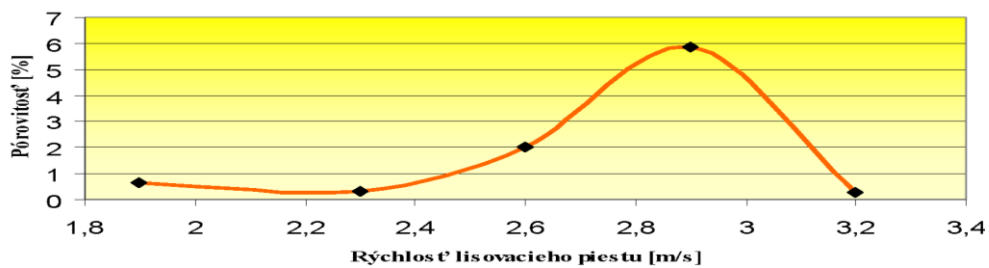


Abb. 20 Computerprogramm ImageJ

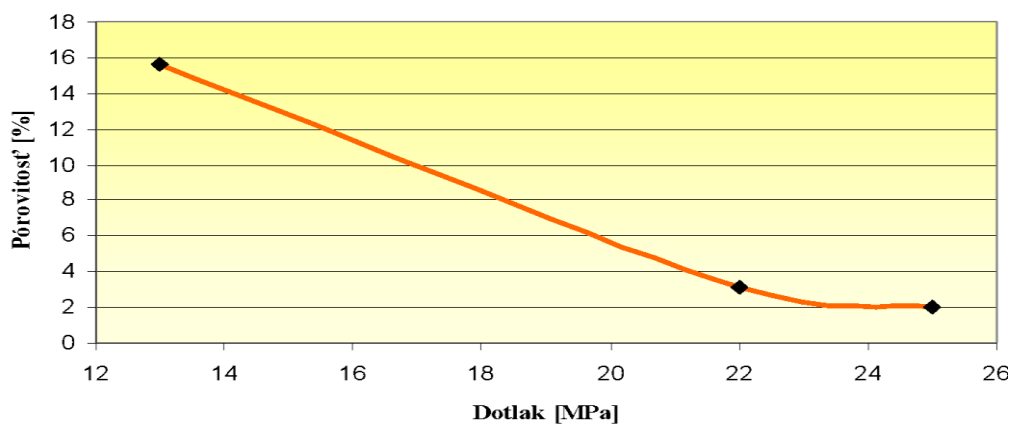
Die Bewertung der Porosität von Proben, die aus den Prüfstäben gewonnen wurden.



Porovitosť [%]

Die Geschwindigkeit des Presskolbens

Abb. 21 Die Abhängigkeit der Porosität von der Geschwindigkeit des Presskolbens



Porovitosť [%]

Nachdruck [Mpa]

Abb. 22 Die Abhängigkeit der Porosität von der Änderung des Nachdruckes

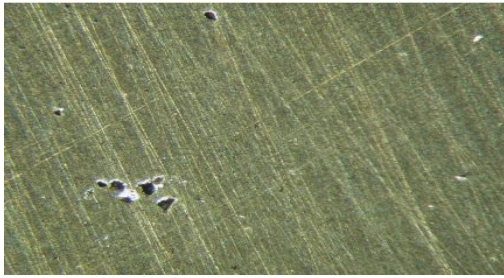


Abb. 23 0,33 %.
 $v = 2,3 \text{ m.s-1}$

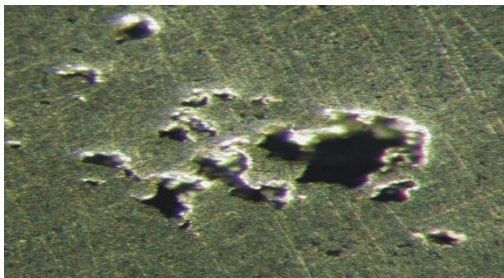


Abb. 24 Porosität 5,85 %.
 $v = 2,9 \text{ m.s-1}$

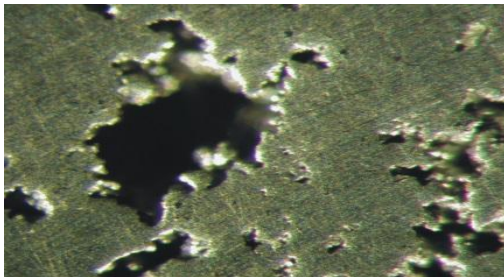


Abb. 25 Porosität 15,59 %.
 $p = 13 \text{ MPa}$

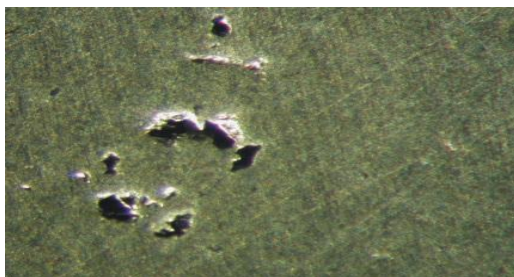
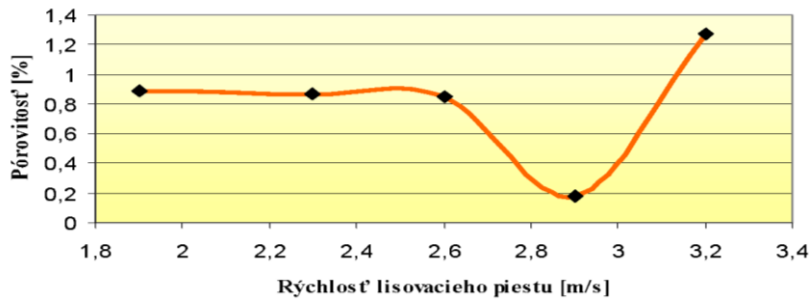


Abb. 26 Porosität 2,03 %.
 $p = 25 \text{ MPa}$

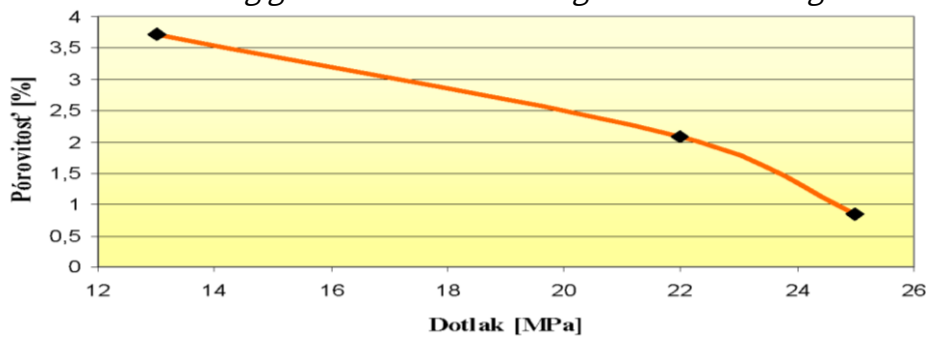
Die Bewertung der Porosität von Proben aus den Gussteilen:



Porosität[%]

Die Geschwindigkeit des Presskolbens[m/s].

Abb. 27 Die Abhängigkeit von der Änderung der Geschwindigkeit des Presskolbens



Porosität[%]

Nachdruck[Mpa]

Abb. 28 Die Abhängigkeit der Porosität von der Änderung der Sperre



Abb. 29 Porosität 0,18 %.

$v = 2,9 \text{ m.s-1}$

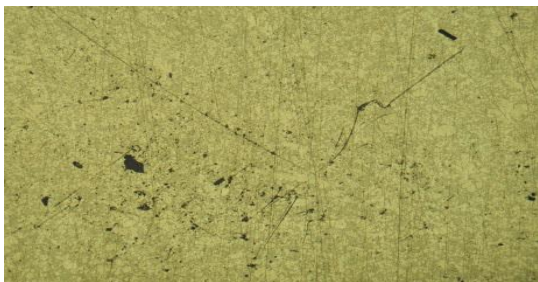


Abb. 30 Porosität 1,27 %.

$v = 3,2 \text{ m.s-1}$

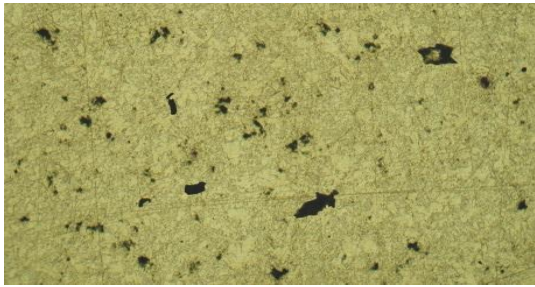


Abb. 31 Porosität 3,73 %.
 $p = 13 \text{ MPa}$

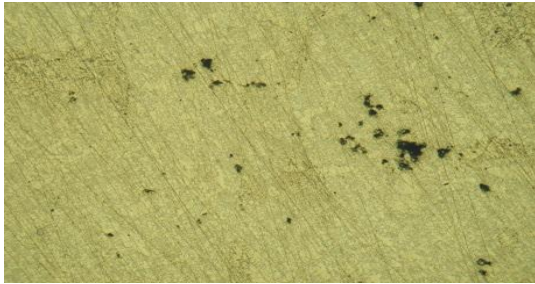


Abb. 32 Porosität 0,85 %.
 $p = 25 \text{ MPa}$

Die Analyse von Strukturen:

Die Struktur wird gebildet durch:

α - solide Lösung

Eutektikum aus den Residuen von α - Mischkristall und Silizium



Abb. 33 Die Mikrostruktur des Randteils der Probe /250x/



Abb. 34 Grundaufbau /2000x/

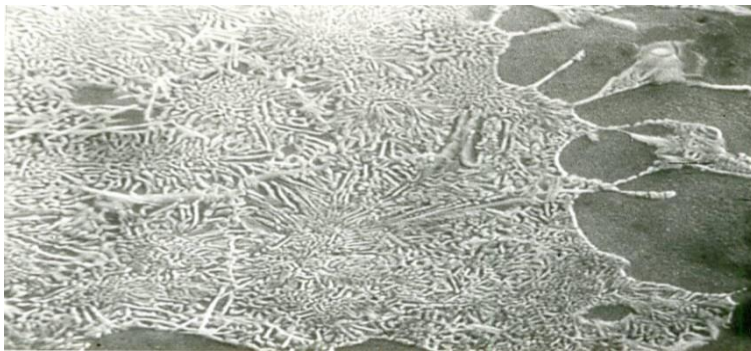


Abb. 35 Die Koaleszenz eutektischer Zellen

Die Analyse des Charakters von Störungen und Gussfehlern

Der Bruch der übereutektischen Silumine ist empfindlich, gleichmäßig und vertikal bis zur Zugfestigkeit organisiert.

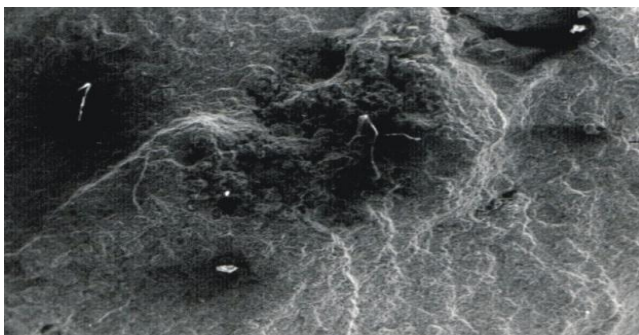


Abb. 36 Die mikroskopische Ansicht der Fraktur /10x/

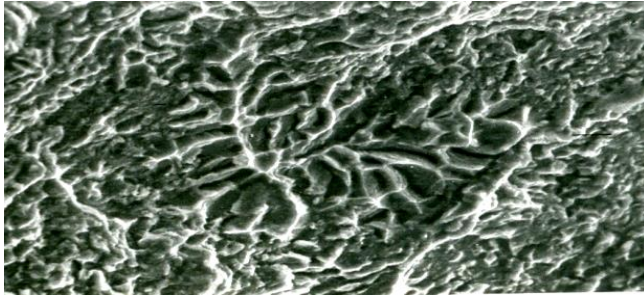


Abb. 37 Die Charakteristik der Störung der α Dendriten von Mischlösung und Eutektikum /250x/

An den folgenden Bruchflächen gab es Gussfehler:

die Hohlräume mit der durch die Dendriten gebildeten Oberfläche, in deren Mitte sich eine Membran aus Al_2O_3 -Oxid befindet.

Al_2O_3 -Partikel

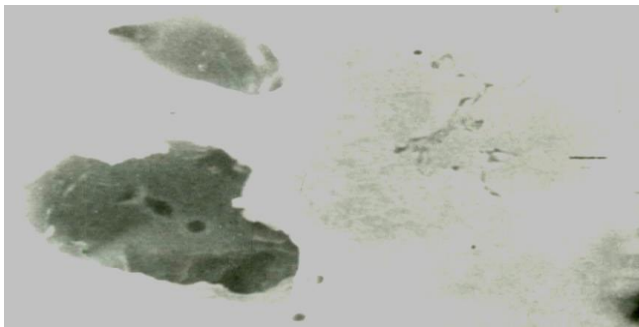


Abb. 38 Exogene Blase /250x/

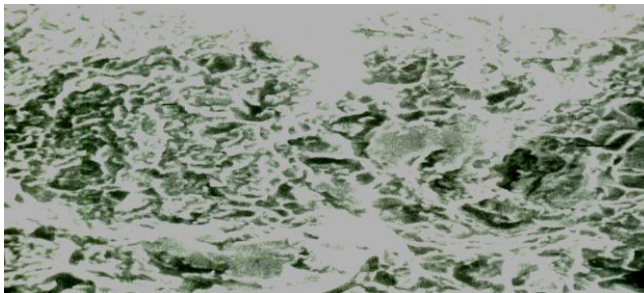


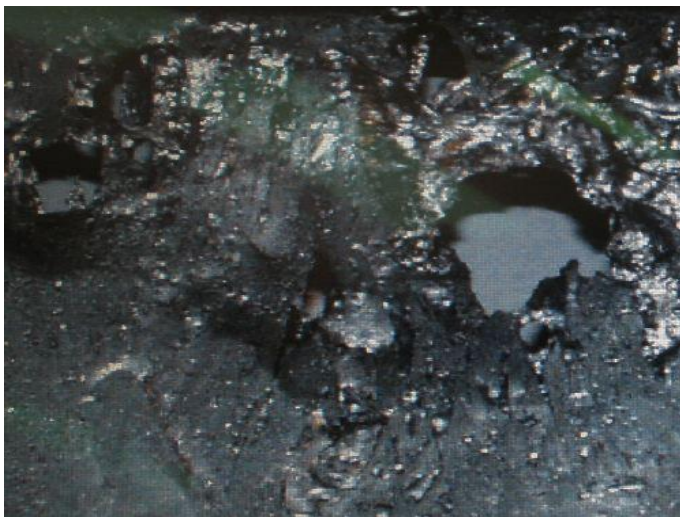
Abb. 39 Al_2O_3 -Partikel auf der Bruchoberfläche /250x/

8. Gussfehler

Das Auftreten von Gussfehlern wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, die miteinander verbunden sind, und die Änderung eines von ihnen stört den Aufbau der anderen. Das Versagen ist definiert als ein solcher Zustand des Gussteils, der die Bildung seiner Gebrauchseigenschaften verhindert. Unter Berücksichtigung der Produktqualität versteht man jede Abweichung von den durch technologische Normen oder vereinbarte Bedingungen vorgegebenen Eigenschaften. Die Liste der Zusammenhänge zwischen Fehlern und den Bedingungen ihrer Entstehung entsprechend ihrer Abhängigkeit von den Faktoren des Gießens ist im Diagramm des Savenovs beschrieben.

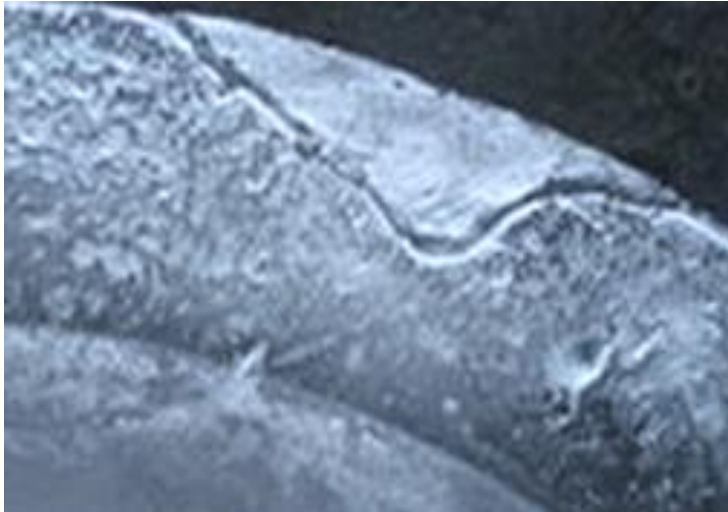
8.1. Zu wenig Guss

Es ist ein Zustand, in dem bestimmte Stellen nicht durch Gießen gefüllt werden. Sie tritt am häufigsten an solchen Stellen auf, die sich am weitesten von der Strömungskerbe entfernt befinden, eine unzureichende Luftabscheidung aufweisen oder durch die Reste von Schmierstoffen befleckt werden, die durch den Metallfluss eingebracht wurden. Darüber hinaus haben die Gesamtbildung des Gussteils und die Lage der Fließkerbe Einfluss auf die Bildung von unzureichendem Gussteil. Es ist zweckmäßig, die Lage der Strömungskerbe als Vorhersage so zu konstruieren, dass der Schmelzestrom nicht zur Seite trifft, insbesondere nicht in der Nähe der Strömungskerbe. Wenn die Gestaltung der Form angemessen ist, ist es möglich, den Fehler durch die optimale Einstellung der technologischen Parameter zu korrigieren.



8.2. Kaltverbindung

Sie tritt auf der Gussoberfläche als kleine Grube mit abgerundeten Kanten auf. Sie entsteht, wenn zwei Ströme der vorzeitig erstarrten Schmelze aufeinandertreffen. Die Ursache für diesen Defekt ist ein Unterdruck der Maschine, eine niedrige Gusstemperatur oder eine ungleichmäßige Verfestigung der Schmelze in der Form.

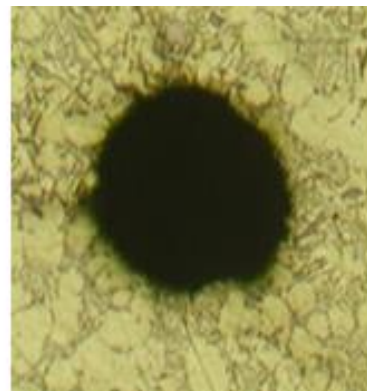
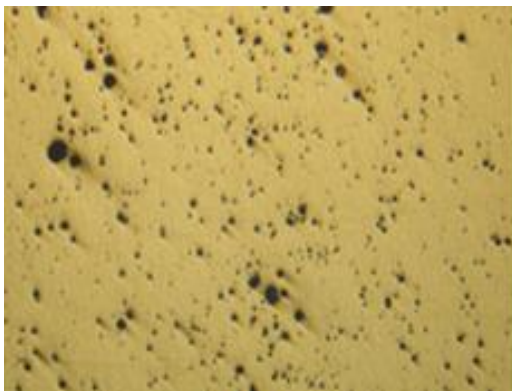


8.3. Porosität

Sie wird durch das Schrumpfen der Schmelze in den Clustern und durch thermische Verbindungen beim Gießen verursacht. Die Porenbildung wird häufig durch die Unterschiede in der Seitenbreite und durch das ungarantierte Absetzen der Schmelze nach dem Herunterdrücken in die Stellen verursacht, an denen zuletzt eine Verfestigung stattfindet. Die Poren nehmen die Form von Hohlräumen mit rauer Oberfläche an. Porosität tritt oft in Clustern auf und verursacht die Lockerung des Gussteils. Die Beseitigung der Porositätsbildung ist möglich durch die Reduzierung der Anzahl der thermischen Verbindungen, die geeignete Auslegung des Strömungssystems mit großer Kerbe und die entsprechende Auslegung des thermischen Systems, so dass eine gleichmäßige Verfestigung der Schmelze in der Formhohlraum gewährleistet ist. Wenn ein solches konventionelles Verfahren das Porositätsproblem nicht lösen kann, ist es möglich, sich für eine außergewöhnliche Methode des Squeeze-Casting zu entscheiden. Die Anwendung dieses Verfahrens erfordert die entsprechende Ausrüstung, d.h. die auf dieser Grundlage arbeitende Maschine.

8.4. Blasen

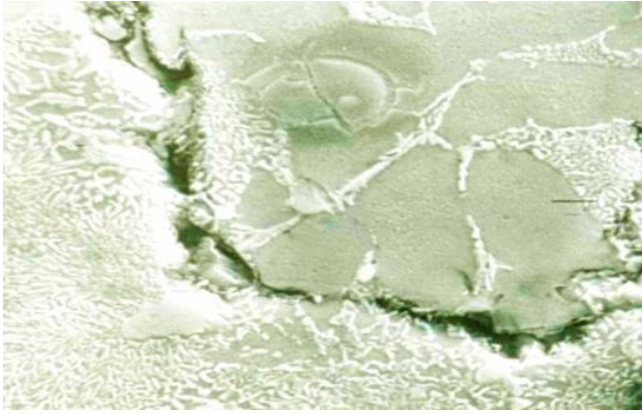
Diese Defekte zeichnen sich durch kleine Hohlräume mit glatter Oberfläche aus. Sie werden durch die Luft aus der Füllkammer, dem Formhohlraum oder der Gasabgabe von Legierungen gebildet, wenn das in dem Formhohlraum enthaltene Gas durch das Entlüftungssystem nicht ausreichend freigesetzt wird und im Gießvolumen eingeschlossen bleibt. Die Reduzierung bzw. Entfernung von Blasen wird durch eine fließende Füllung des Formhohlraums unterstützt, die an den Stellen, an denen eine effiziente Entlüftung möglich ist, abgeschlossen werden soll. Das Strömungssystem muss so ausgelegt sein, dass die Luft nicht von der Schmelze eingeschlossen und somit vorwärts geschoben wird. Daher ist es zweckmäßig, das Gussteil so zu gestalten, dass die Luft von den Stellen, an denen die Schmelze zuletzt erstarrt ist, abgegeben wird. Es ist auch wichtig, die richtige Kerbmündung sowie die geeignete Stelle und das Volumen der Überläufe zu planen.



8.5. Lufteinschlüssen

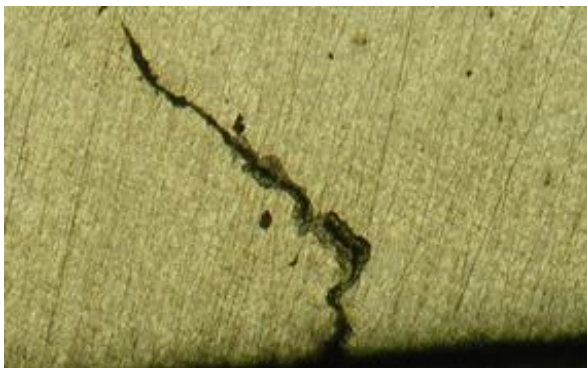
Der Defekt tritt auf, wenn etwas Luft leicht unter der Oberfläche des Gussteils eingeschlossen ist. Es ist das Ergebnis von hohem Druck in der Blase und geringer Festigkeit der Seite des Heißgießens. Die Ursache ist eine unzureichende Luftabgabe der Form, eine Form der Kerbenmündung und eine Lage der Temperierkanäle im Formkörper. Das Auftreten von Blasen wird auch durch die übermäßige Temperierung der Form, die hohe Temperatur der Schmelze beim Gießen oder den falschen Start des Nachdrucks verstärkt.

Zavaleniny (Trundles) Der Defekt wird durch das Zusammenfügen von vorzeitig verfestigten Schmelzflüssen verursacht. Die Ursache ist ein unzureichender Druck der Gießmaschine, eine unzureichende Temperatur der Schmelze oder eine ungleichmäßige Verfestigung des Gussteils in der Form. Eine Vorhersage ist möglich durch die Einhaltung des technologischen Verfahrens des Gießens, die richtige Einstellung der Parameter, die richtige Temperatur der Schmelze und die Temperatur der Form.



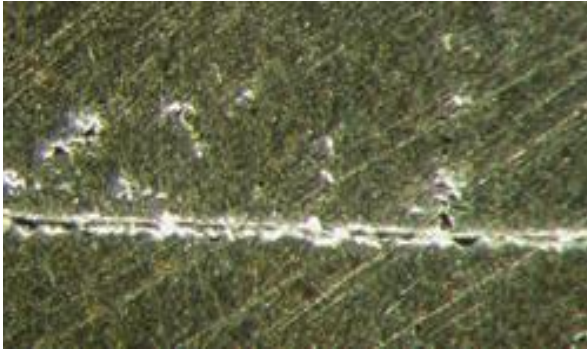
8.6. Splits

Es handelt sich um einen Defekt in den Hohlräumen der Seiten des Gussteils und um einen Defekt, der auf der Verletzung der Fülle beruht, die von der Oberfläche bis zum Volumen des Gussteils reicht. Es handelt sich um eine kurvenförmige Verletzung der Seite, die bei Hitze auf einer leicht oxidierten Oberfläche stattfindet. Sie beginnt im Rahmen des Erstarrungsprozesses, wenn der natürliche Verlauf mechanisch oder thermisch behindert wird.



8.7. Risse

Sie sind definiert als ein kurvenförmiger Bruch der Gussseite, der bei Kälte aufgetreten ist. Ihre Oberfläche ist sauber. Ihre Ursachen sind eine Spannung durch Schrumpfung, eine unsachgemäße Konstruktion, die die Spannung im Volumen des Gussteils nach dem Abkühlen verursacht, oder eine vorzeitige Entfernung des Gussteils aus der Form. Sie laufen durch die Innenteile von Kernen, weil ihre Kanten nach dem Abkühlen stärker sind als ihre Kerne.



8.8. Verformungen

Das Design der Form beeinflusst die Bildung von Verformungen, die durch:

- eine unzureichende Fase des Formteils des festen Teils der Form
- eine kleine Fase der tiefen Formen des Gussteils
- eine falsche Position und unzureichende Oberfläche der Ejektoren
- eine unzureichende Auflagefläche des Gussteils beim Lösen von beweglichen Kernen
- ein Schimmelpilzabrieb im Bereich der ungeeigneten Kerbmündung
- eine unangemessene Auslegung des Kühlsystems der Form

Neben dem Design ist es die Qualität der Form, die einen gewissen Einfluss hat; insbesondere der Zustand der Oberfläche des Formteils; die Behandlung der Form nach Abschluss des Gießzyklus und die Entstehung von Wärmespalten.

8.9. Größenabweichungen

Erfüllt ein Gussstück die erforderlichen Bedingungen, muss es die offensichtlichen Anforderungen an Fülle, innere und äußere Qualität und mechanische Eigenschaften erfüllen. Darüber hinaus muss es den Größenanforderungen entsprechen, die in den Konstruktionsunterlagen definiert sind. Die Anforderungen an die Genauigkeit der Größen müssen von einem Konstrukteur berücksichtigt werden, wenn er die Fertigstellung der Gussform und die Gesamtkonstruktion der Form projiziert.

Wenn wir die Größenabweichungen aus der Sicht des Designs der Form und der Art und Weise der Fertigstellung der Gussform betrachten, kommen wir zu dem Schluss, dass sie durch die folgenden Determinanten verursacht werden:

- die Größen, die die Teilungsebene überqueren, können nicht innerhalb der engen Toleranzgrenzen eingeschränkt werden.

- Das System des Temperierens der Form muss auch den Einfluss auf die Größenabweichungen des Gussteils berücksichtigen; die Lösung ist eine Erreichung des thermischen Gleichgewichts im Laufe des Gießens.
- die falsche Auslegung des Wertes der Schrumpfung des Gussteils in Bezug auf die Gestaltung der Form in Bezug auf die Art der Legierung
- Die Verformung der Form, d.h. Durchbiegung, Überhitzung, verursacht durch die unzureichende Dimensionierung der einzelnen Teile der Form.

9. Zusatzeinrichtungen zu den Druckgießmaschinen

9.1. Dosiereinrichtung

Die Funktion der Manipulatoren der Dosierung besteht darin, die gemessene Schmelzemenge aus dem Warmhalteofen in die Druckkammer der Druckgießmaschine zu übertragen.

Sie bestehen aus Stativ, Kraftwerk, Schwenkarm, Schaufel und Sonden.

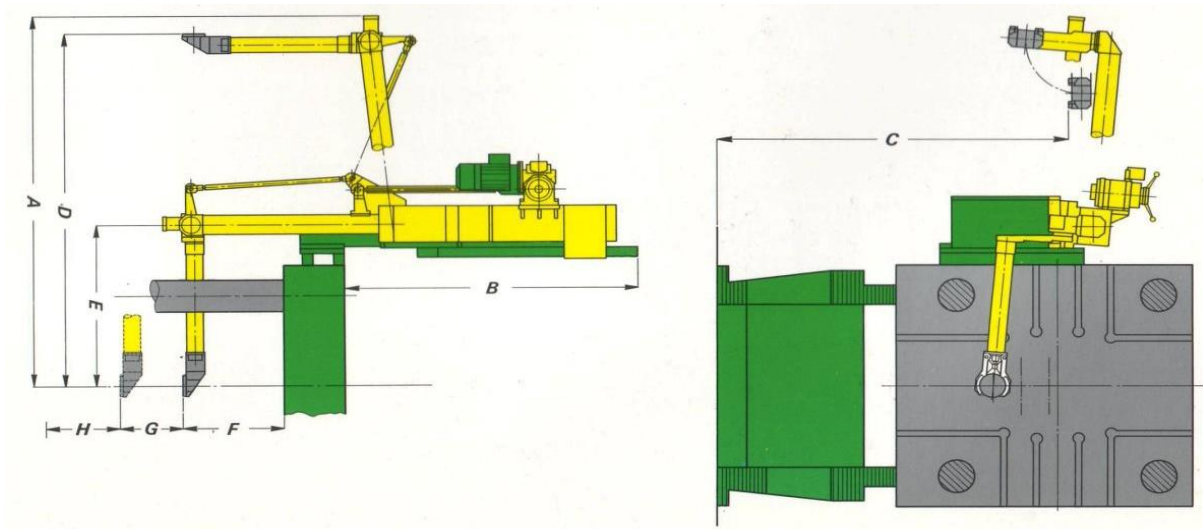
Der Ständer ist so konzipiert, dass er eine vertikale Neupositionierung und eine Drehung des Manipulators ermöglicht. Sie wird auf dem Boden neben der Druckgießmaschine befestigt. Das Kraftwerk besteht aus Elektromotor, Getriebe und Gewindegetriebe.

Der Schwenkarm ist auf der Abtriebswelle des Schneckengetriebes befestigt. Im Schwenkarm befindet sich ein Kettenantrieb. Sie hält den Tragarm während der Bewegung des Schwenkarms in der angeordneten Position. Der Tragarm trägt die Schaufel. Es enthält eine Vorrichtung zum Drehen der Schaufel.

Die Schaufel ist meist aus perlitischem Grauguss gefertigt. Seine Form ist so konzipiert, dass beim Eintauchen in die Schmelze die Verletzung der oxidativen Oberfläche minimal ist. Die Genauigkeit der Dosierung liegt bei etwa 0,8%. Es ist möglich, die Schaufel vollständig zu entleeren.

9.2. Die Maschine zum Sammeln von Gussteilen

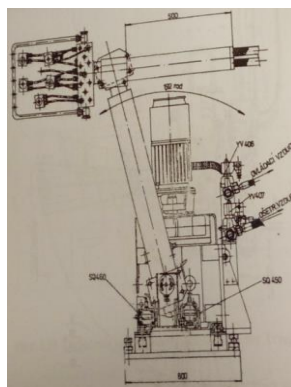
Das Sammeln von Gussteilen ist mit einigen anderen Vorgängen verbunden, wie beispielsweise der Prüfung von Gussteilen. Es gibt frei programmierbare Industrieroboter, die die Gussteile aufnehmen.



9.3. Die Vorrichtung zur Behandlung von Schimmelpilzen

Die äußere und innere Sauberkeit von Gussteilen hängt weitgehend von der Behandlung des aktiven Teils der Form ab, die durch die Behandlungsvorrichtung gewährleistet wird.

Es besteht aus Hubgerät und Druckverteilsystem. Das Hubgerät ist auf dem festen Messschieber der Druckgießmaschine befestigt. Es ist möglich, es mechanisch im Raum der Trennfläche der Form und durch das Lösen von Schrauben im Flansch zu drehen. Der Übergang des Behandlungsblocks zur Position der Form erfolgt über einen Pneumatikzylinder. Die Behandlung der Form erfolgt durch Schmierung und Blasdüsen. Die Versorgung des Behandlungsblocks mit Luft und Schmiermittel erfolgt über Häuser, Rohre und Druckbehälter.



9.4. Abgratpressen

Das Besäumen der Einläufe an den Gussteilen erfolgt auf den Besäumpressen. Der Betrieb der Abgratpressen muss automatisch selbstschützend sein. Die Maschine enthält viele Komponenten wie Endschalter, Handschutzvorrichtungen und Steuerventile. Es gibt eine Sicherheit für den Einzelaufzug, so dass die Presse nur einen Aufzug machen würde, auch wenn alle Tasten gedrückt würden.



9.5. Die Vorrichtung zur Hilfsheizung der Betriebsflüssigkeit

Die Maschine ist in der Lage, die Flüssigkeit in 3 - 4 Betriebsstunden auf die Betriebstemperatur zu bringen. Die Zusatzheizung wird zur Zeitersparnis eingesetzt.

Die Zusatzheizung wird verwendet, wenn die Maschine über einen längeren Zeitraum ausgeschaltet ist. Die Temperatur sinkt um 20 ° C.

Die Kühlung der Flüssigkeit führt zu einem Anstieg der Viskosität. Es erzeugt eine Beschichtung auf dem Filtereinsatz, die die Signalisierung von Maschinendefekten aktiviert.

Am effizientesten sind die Elektroheizungen von Betriebsflüssigkeiten.

10. Das Schmelzen von Legierungen

Das Schmelzen der Legierungen erfolgt in Schmelzöfen mit ausreichendem Input, um eine intensive Schmelzung zu erreichen und die Überhitzung auf ein Minimum zu reduzieren. Die Gusstemperatur hängt von der Art der Legierung, der chemischen Zusammensetzung, dem Gussteil, der Komplexität des Designs und der Rauigkeit der Seiten ab. Unter Berücksichtigung der Gießtemperatur ist es notwendig, die Kühlwirkung von Form und Kern sowie die Art des Gießens zu berücksichtigen.

Die überhöhten Temperaturen verursachen den Anstieg der Gasmenge, die übermäßige Menge an Oxiden, die Rauheit der Kerne und den Energieverbrauch.

Das Schmelzen ist ein thermo-metallurgischer Prozess. Im Zuge dessen wird die Erwärmung hinzugefügt bzw. erzeugt und das Material (Charge) ändert seinen physikalischen Zustand, d.h. von fest (Solidus) in flüssig (likvidus).

10.1. Die Chargenmaterialien

- Blöcke aus Legierung
- Reinelemente (Al, Mg, Zn, Cu, Si, etc.)
- Vorlegierungen für die Dotierung (Al-Ti, Al-Cr, Al-Mo, etc.)
- Chemikalien (ionenbasierte Verbindungen), die zur zusätzlichen Dotierung für die Anpassung der Struktur verwendet werden.
- Abfälle, die entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung sorgfältig ausgewählt werden müssen.

10.2. Umwandelbares Material

Konvertierbares Material wird durch Einlässe, Güsse, Reste in der Presskammer und fehlerhafte Produkte aus dem Druckguss gebildet. In Anbetracht der praktischen Erfahrung hängt der Prozentsatz des umwandelbaren Materials von der Größe des Gussteils ab, er kann von 20% des Gewichts des Rohgussteils bis zu 75% des Gewichts des Großgussteils betragen.

Im Falle von Gussteilen, die keine hervorragenden Eigenschaften erfordern, ist es möglich, eine Legierung geringerer Qualität durch die Verwendung von konvertierbarem Material im Verlauf zu verwenden, insbesondere von der zweiten bis zur dritten Schmelze. Der Gehalt an konvertierbarem Material der zweiten Schmelze sollte den Wert von 40%

nicht überschreiten und der Gehalt an konvertierbarem Material der dritten Schmelze sollte innerhalb von 30% liegen.

Konvertierbares Material wird als reines Material eingestuft, d.h. aus dem Einlasssystem, defekten Gussteilen und verunreinigtem Material, d.h. den Resten aus der Füllkammer und der durch Öl verunreinigten Legierung. Im Laufe des Schmelzens werden die Chargen zuerst geschmolzen, dann wird ein neuer Legierungsblock hinzugefügt. Es folgt die Veredelung.

10.3. Schmelzen, Halten und Gießen

Zum Schmelzen werden verschiedene Arten von Schmelzaggregaten verwendet. Die entscheidenden Faktoren sind die Wirtschaftlichkeit und Technologie der Herstellung von Metallen oder Legierungen.

Zu den wichtigsten technologischen Parametern gehören:

- Die Leistung des Schmelzaggregats
- Die Art und Weise der Erwärmung von Schmelzaggregaten
- Die Art und Weise der Temperaturänderung
- Die Bewegung der Schmelze am Arbeitsplatz
- Der Bereich der Arbeitstemperaturen und die Änderung der Temperaturen
- Steuerung und Regelung
- Atmosphäre und Druck
- Die Zeit des Schmelzprozesses

11. CA-Technologien in der Gießerei

Die schnelle Einführung der Computertechnologie in allen Industriezweigen hat den Weg für die Versuchs- und Simulationsmodellierung und die Bewertung der Konstruktionen von Einlasssystemen und Druckformen geöffnet, die analytisch und empirisch konzipiert sind. Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Computertechnologie für die Simulation von Prozessen, die im Druckguss stattfinden, 40% der Zeit, die für die Konstruktion des Gussteils benötigt wird, 30% der Zeit, die für die Auswertung der Ergebnisse im Labor benötigt wird, einspart und eine erhöhte Rentabilität von 25% im Hinblick auf den gesamten Prozess bringt.

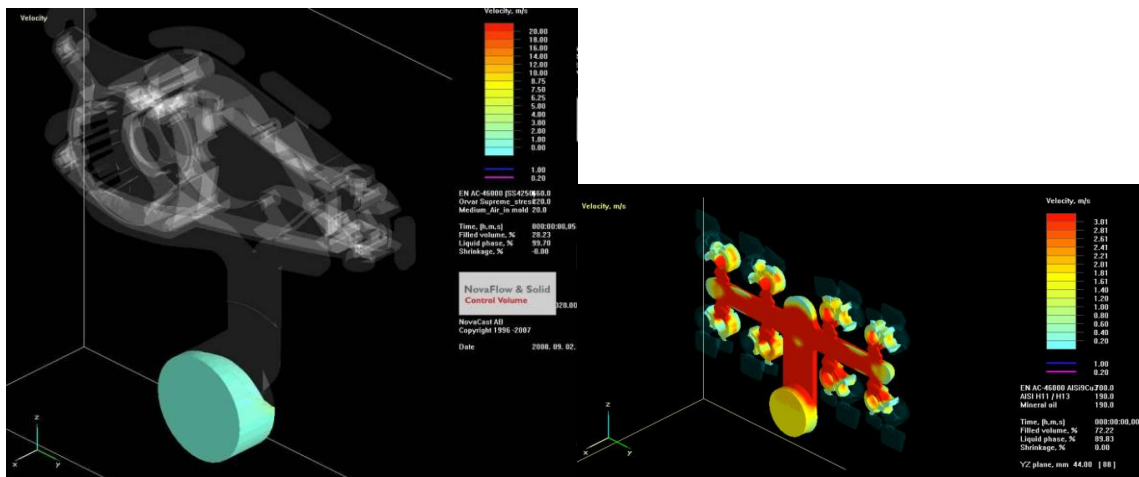
Es gibt mehrere Dutzend Simulationsprogramme, die für die Simulation von Prozessen im Inneren der Form verwendet werden. Die gebräuchlichsten Programme sind die folgenden:

- NovaFlow & Solid,
- PamCast,
- Magmasoft,
- Simtec - Wincast.

11.1. NovaFlow & Solid

Das Programm wird von NovaCast, S.A., Sveden, entwickelt. Die Berechnung des Verlaufs der Füllung des Formhohlraums erfolgt gleichzeitig mit der Lösung der Formel, die den Durchfluss und die Wärmeeinbringung berechnet. Dem Anwender wird insbesondere die Gesamtübersicht über den Verlauf der Befüllung und Erstarrung ermöglicht. Es bietet eine Definition der Größe und des Layouts von Defekten für jede Art von Legierung. Am Ende der Befüllung werden die Temperaturfelder des Gussteils anschließend für die Simulation der Erstarrung genutzt. Der Durchfluss der inkompressiblen Flüssigkeit, die Reynoldszahl, die Reibungsverluste im Einlasssystem der Form, die Änderung der Dichte des Metalls im Zuge der Erstarrung und die Größe der Volumenänderungen werden in der Simulation berücksichtigt.

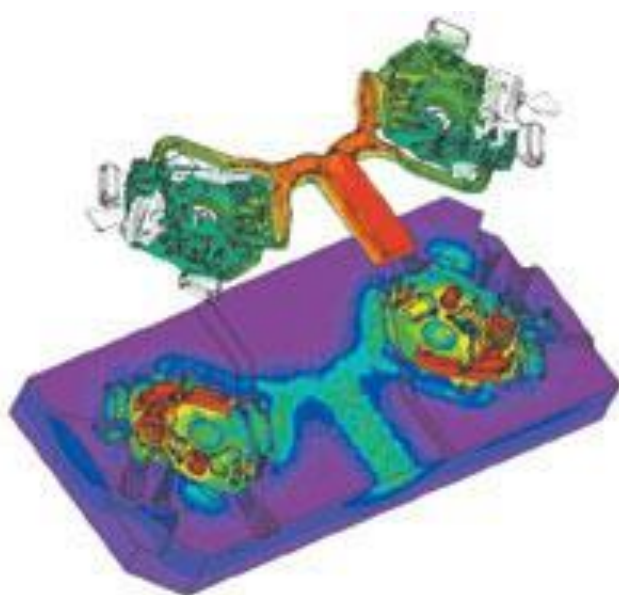
Das Programm ist mit einer Datenbank über die thermophysikalischen Eigenschaften von Legierungen und dem Material von Formen ausgestattet. Es ist möglich, die Datenbank zu ändern und hinzuzufügen. Die Visualisierung erfolgt in 3D-Form mit der Möglichkeit der Animation des Prozesses. Das Programm ist in der Lage, die Strömungsvektoren, das Layout der Temperaturen der Flüssigphase, das Layout der Schrumpfungen im 2D- oder 3D-Format und den zeitlichen Verlauf der Temperaturen anzuzeigen.



11.2. PamCast

Dieses Programm ist ein Produkt der ESI Group, Frankreich. Es ist präziser und detaillierter als NovaFlow & Solid. Es kann Navier-Stokes Formeln der turbulenten Strömung von Metall und Luft zusammen mit der Wärmebilanz äußerst präzise und ohne Annäherungen lösen. Der Anwender stellt die Eingangsparameter in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur ein. Es ist möglich, die Bewegung der freien Metallgrenze, die Verteilung der festen und flüssigen Phase zu animieren und das Layout und das Auftreten von Schrumpfungen vorherzusagen.

Eine Simulation ermöglicht es, den Aufbau der Maschine so zu optimieren, dass es zu keiner turbulenten Strömung der Schmelze kommt und die Folge die Reduzierung des Kontakts von Luft und Schmelze ist.

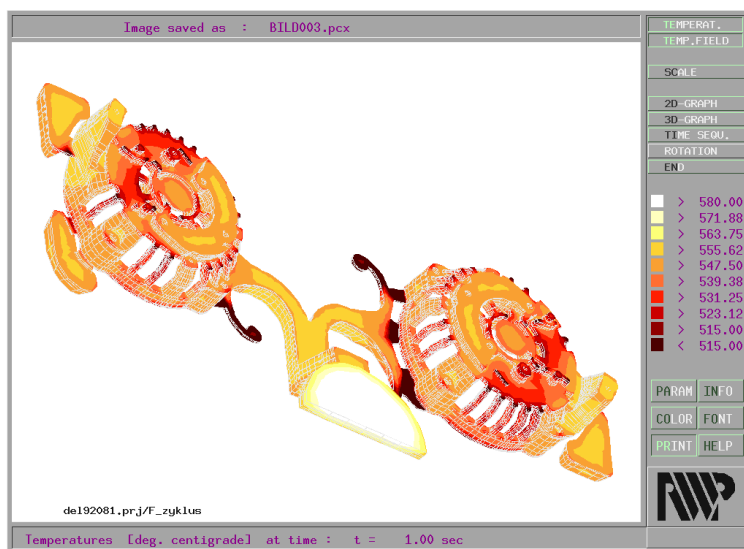


11.3. Simtec - Wincast

Es ist ein vollständiges und universelles Instrument zur Optimierung der Konstruktion bei der Herstellung von Gussteilen und bietet ein breites Spektrum an Informationen:

- Der Verlauf des Gießens und Abkühlens
- Eigenspannung
- Schrumpfen und Verformen nach dem Gießen
- Die Bildung von Porositäten
- Die Mikrostruktur des Materials
- Die Festigkeitseigenschaften von Bauteilen
- Die Eignung des Gießsystems
- Der Temperaturverlauf und die Gestaltung der Kühlung bei Metallwerkzeugen

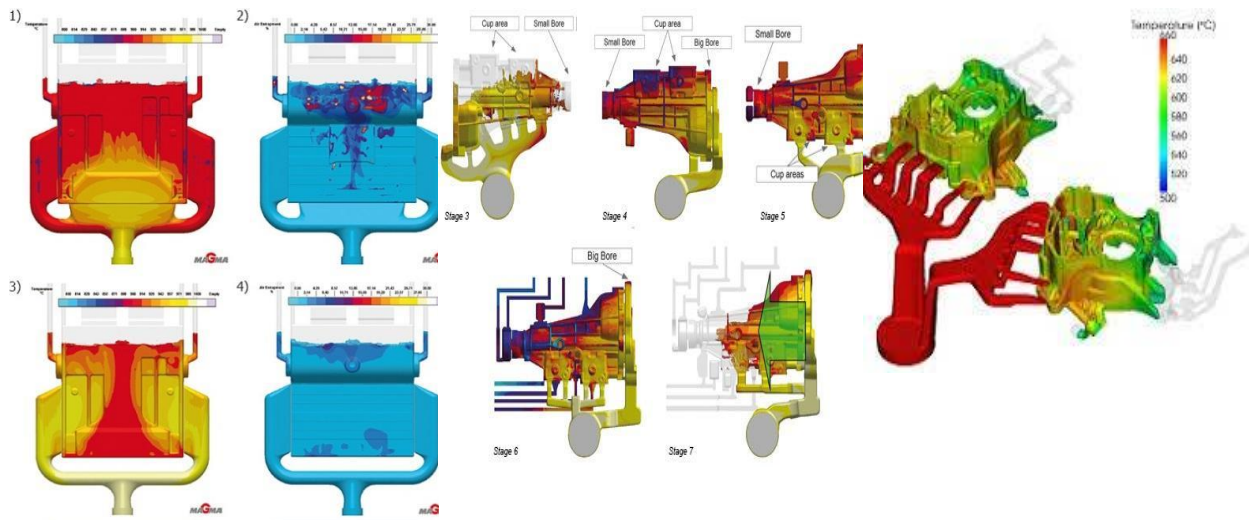
Es verfügt über Funktionen und Module, die eine genaue Einstellung und Auswertung der spezifischen Parameter der Druckgusstechnologie und der thermophysikalischen Eigenschaften von Materialien beschleunigen. Einer der Vorteile ist die Tatsache, dass der Anwender die Form des Gussteils nicht aus anderen Programmen importieren muss. Es ist möglich, sie direkt im Programm zu erstellen und anzupassen. Die Möglichkeit, andere Programme zu importieren und mit ihnen zu kommunizieren, wird durch eine Reihe von Schnittstellen wie FEM, VDA, STL, etc. gewährleistet.



11.4. Magmasoft

Es ist eine sehr beliebte Software. Es ist für 2D- und 3D-Simulationen konzipiert, die sich mit der Füllung und Verfestigung von Gussteilen, der Berechnung von Eigenspannungen, Wärmefeld und Wärmefluss befassen. Dieses Programm ist ein wirksames Instru-

ment, das es ermöglicht, Fehler oder Kosten zu reduzieren und den Einsatz von Metall zu erhöhen. Sie zeichnet sich durch eine kurze Rechenzeit, hohe Genauigkeit, Effizienz und einfache Bedienung aus.



12. Spezielle Technologien in der Gießerei

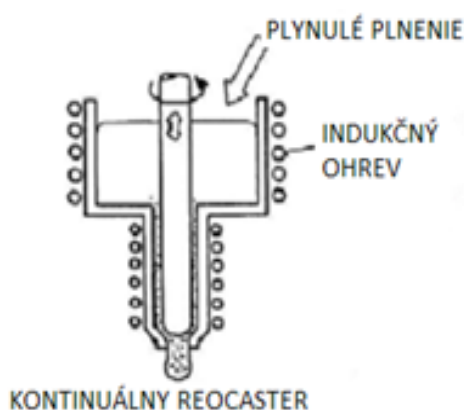
12.1. SEMI SOLID METAL (SSM) Prozess

Halbfestes Metall ist ein Gießverfahren für Metalle und deren Legierungen, die sich im teilfesten Zustand befinden, d.h. die Temperatur liegt zwischen flüssig und fest. Das Material ist ähnlich wie die Konsistenz von Plastilin, d.h. der thixotrope Zustand des Materials. Das Bild zeigt ein Halbzeug mit 55% - 60% Kristallphase, das mit einem Messer geschnitten werden kann.



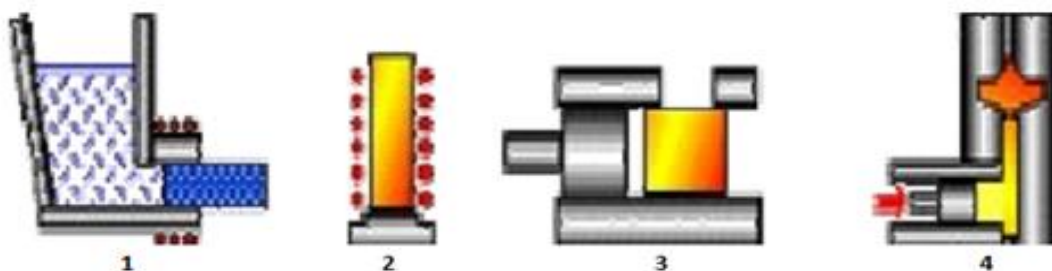
12.2. Rheocasting

Rheocasting (reolatie) ist in der Tat ein modifiziertes Verfahren, das einen halbflüssigen Zustand des Materials verwendet. Der Begriff für diesen Weg ist Rheocasting, da die Prinzipien der Rheologie für die Herstellung von Halbfabrikaten verwendet werden. Das Schema der Produktion von Halbfabrikaten ist in der Abbildung dargestellt. Die Maschine besteht aus zwei Zylindern.



12.3. Thixocasting

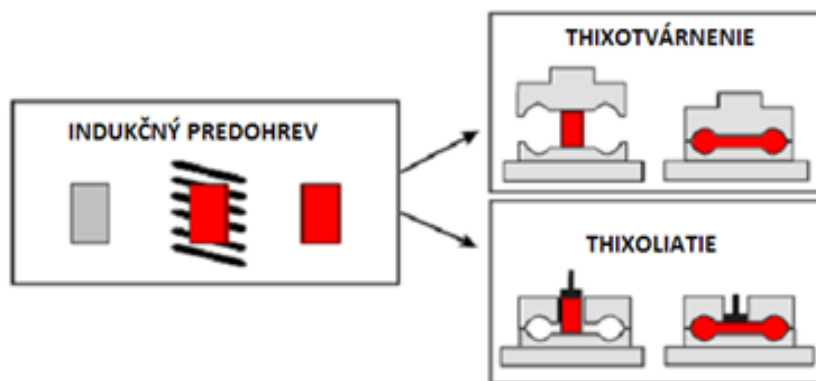
Thixocasting (Thixoliatie) ist im Wesentlichen eine modifizierte SSM-Methode. Basis für die Weiterverarbeitung ist ein speziell aufbereitetes Material, das in der Regel im Strangguss hergestellt und anschließend in Tabletten aufgeteilt wird. Solche Tabletten werden induktiv erwärmt, so dass der Anteil der festen Phase etwa 60% bis 65% des Volumens beträgt. Sie werden anschließend in die horizontale Kammer der Druckmaschine eingebracht. Die Gussteile werden in ähnlicher Weise wie beim Rheogießen hergestellt. Die Duplexstruktur mit allen positiven Eigenschaften bleibt ebenfalls erhalten.



Beschreibung: 1 - die Herstellung von stranggegossenem Halbzeug, das aus einer speziell vorbereiteten Schmelze hergestellt und in Tabletten unterteilt ist, 2 - das Erwärmen von Tabletten durch induktive Wärme, 3 - das Einbringen der Tablette in die Druckmaschine, 4 - das Einspritzen von erwärmtem Halbzeug in die Formhohlräume.

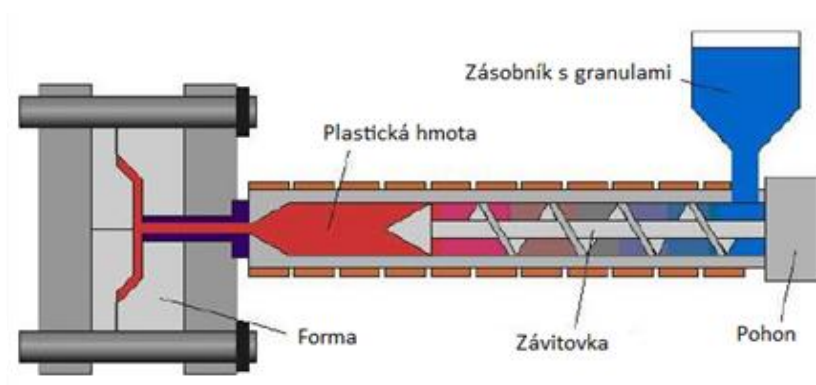
12.4. Thixoforming

Thixoforming ist ähnlich wie Thixocasting. Es nutzt auch die Vorteile von SSM bzw. Thixocasting. Thixoforming verwendet auch Halbzeuge, die aus Strangguss hergestellt und anschließend zu Tabletten geschnitten werden. Die induktive Erwärmung von Tabletten erreicht eine solche Temperatur, dass der Anteil der festen Phase an ihrem Volumen 70% beträgt. Der Hauptunterschied zwischen Thixogießen und Thixoformen ist der Anteil der festen Phase in der Materialtablette, die in die Form gebracht wird. Außerdem gibt es einen Unterschied in der verwendeten Maschine. Die erwärmten Tabletten werden nach und nach in die spezielle Form gebracht, die auf der Formpresse fixiert wird. Das Schema der Methode ist in der Abbildung dargestellt.



12.5. Thixomoulding

Das Thixogießen ist ein Gießverfahren, das auf dem Erwärmen von Metallpulver oder -granulat auf der Basis von Magnesium oder Aluminium in einer speziellen Pressmaschine basiert. Das Schema des Prinzips des Thixomolding ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



13. Literatur

GAŠPÁR, Š., PAŠKO, J. *Technológia výroby hliníkových odliatkov tlakovým liatím*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2015. ISBN 978-80-553-2236-0.

GAŠPÁR, Š., PAŠKO, J., MAJERNÍK, J. *INFLUENCE OF STRUCTURE ADJUSTMENT OF GATING SYSTEM OF CASTING MOULD UPON THE QUALITY OF DIE CAST*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM - Verlag, 2017. 82 p. ISBN 978-3-942303-47-7.

MAJERNÍK, J. *Problematika návrhu vtokových soustav permanentních forem pro lití kovů pod tlakem*. 1st ed. Stalowa Wola: Wydawnictwo Sztafeta Sp. z o.o, 2019. 94 p. ISBN 978-83-63767-63-1.

PAŠKO, J., GAŠPÁR, Š. *Technological Factors of Die Casting*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2014. 93 p. ISBN 978-3-942303-25-5.

RUŽBARSKÝ, J., PAŠKO, J., GAŠPÁR, Š. *Techniques of Die Casting*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2014. 199p. ISBN 978-3-942303-29-3.

FORMEN UND GUSSTEILE

1. Wärmebehandlung

1.1. Zweck und grundlegende Klassifizierung der Wärmebehandlungsmethoden

Durch die richtige Verwendung von Metall- und Legierungseigenschaften ist es möglich, z.B. das Gewicht einer Maschine oder Maschine zu reduzieren oder kostengünstigere Materialien zu verwenden. Beides führt zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Produktion.

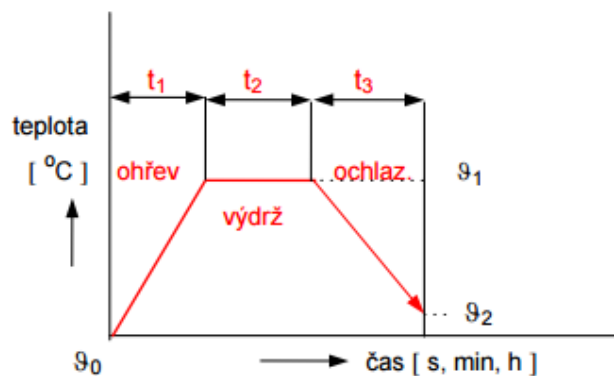
Die Wärmebehandlung umfasst alle Prozesse, bei denen ein Objekt oder Material im festen Zustand auf eine bestimmte Weise erwärmt und gekühlt wird, um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen.

Es beinhaltet immer die folgenden Prozesse:

- Erwärmen auf eine bestimmte Temperatur
- Aufrechterhaltung dieser Temperatur
- Abkühlung auf eine bestimmte Temperatur bei einer bestimmten Geschwindigkeit

In einigen Fällen können diese Prozesse unter verschiedenen Bedingungen mehrmals wiederholt werden.

Die Kühl- oder Heizgeschwindigkeit wird mit hoher Geschwindigkeit in $^{\circ}\text{C}/\text{s}$, mit niedriger Geschwindigkeit in $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ oder $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ angegeben.



Legende: *teplota* - Temperatur, *ohřev* - Heizung, *výdrž* - Temperaturerhaltung, *ochlaz.* -

Kühlung, čas – Zeit

Obwohl beide Geschwindigkeiten nicht gleichmäßig sind (sie hängen vom momentanen Temperaturgradienten ab), betrachten wir hauptsächlich die Durchschnittsgeschwindigkeit, die sich wie folgt berechnet:

a) při ohřevu

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$$

b) při ochlazování

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{t_3}$$

kde: ϑ_0 je výchozí teplota před ohřevem

ϑ_1 je teplota ohřevu

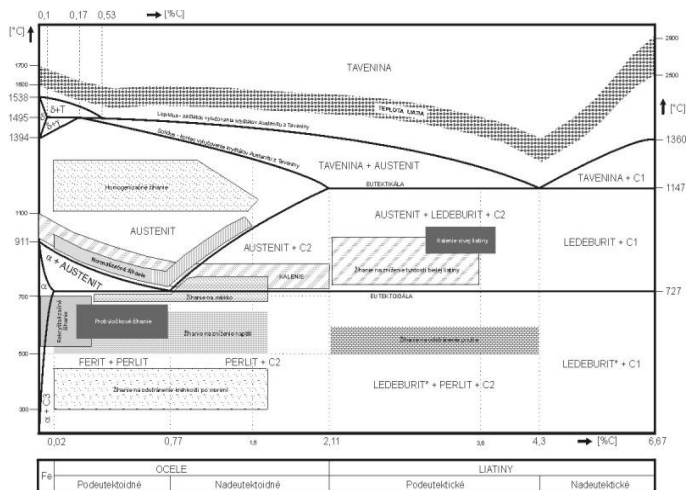
ϑ_2 je požadovaná teplota na konci ochlazování

Legende: při ohřevu - in der Heizung, při ochlazování - in der Kühlung, kde - wo, výchozí teplota před ohřevem ohřevem - Starttemperatur vor dem Heizen, teplota ohřevu - Heiztemperatur, požadovaná teplota na konci ochlazování - Solltemperatur nach dem Kühlen

Die Wärmebehandlung beeinflusst mechanische Eigenschaften wie Festigkeit, Härte, Duktilität, Kerbzähigkeit, Verschleißfestigkeit, etc. In vielen Fällen treten Strukturveränderungen auf, weshalb Kenntnisse über Gleichgewichtsdiagramme und Phasenänderungen erforderlich sind.

Da das Gleichgewicht der Phasenänderungen im festen Zustand vollständig durch Diffusion bestimmt wird, ist es für das Ergebnis der Wärmebehandlung wichtig, welche Wirkung die Diffusion haben wird. Der Verlauf der Diffusion wird sowohl von der Temperatur als auch von der Dauer (Zeitspanne), in der die Temperatur gehalten wird, beeinflusst. Durch die Beeinflussung der Diffusion wird die Wärmebehandlung in zwei grundlegende Gruppen eingeteilt:

- thermische Behandlungsmethoden, die die Diffusion verstärken und sie nur geringfügig behindern. Diese Verfahren werden im Allgemeinen als Glühen bezeichnet.
- thermische Behandlungsverfahren, die die Diffusion erheblich behindern oder vollständig stoppen. Der Nichtgleichgewichtszustand der Legierung ist im Allgemeinen umso größer, je höher die Abkühlgeschwindigkeit ist. Die Hauptmethode ist das Abschrecken.



1.2. Glühen

Das Ziel des Glühens ist meist:

- Zur Reduzierung der Eigenspannung,
- Um die Folgen der vorhergehenden mechanischen Bearbeitung zu vermeiden,
- Verbesserung der technologischen Eigenschaften (Kaltumformung, Bearbeitung),
- Zur Verringerung der chemischen und strukturellen Heterogenität.

Der entscheidende technologische Parameter des Glühens ist die Temperatur und die Zeit bei der Temperatur, wenn die Abkühlung sehr langsam ist. Die Glühtemperaturen der einzelnen Verfahren ergeben sich aus dem Gleichgewichtsdiagramm von Fe-Fe₃C.

Alle Glüharten können durch die Glühtemperatur dividiert werden:

- Glühen zur Reduzierung der Eigenspannung. Ziel ist es, die Eigenspannungen im Material während der Gusserstarrung, der Abkühlung nach der Kalt- und Warmumformung und in den Deckschichten nach der Spanbearbeitung zu reduzieren. Bei der Glühtemperatur von 450 - 650 °C ist die Streckgrenze so niedrig, dass die Eigenspannung durch lokale plastische Verformung reduziert werden kann. Je nach Größe, Form und Material sind 2 - 10 Stunden Verbleib auf der Temperatur bei langsamer Abkühlung erforderlich, um neue Eigenspannungen zu vermeiden.
- Rekristallisationsglühen. Es bezieht sich hauptsächlich auf das Zwischenglühen beim Kaltumformen von kohlenstoffarmem Stahl, das die Härtung beseitigt und die Verformbarkeit und Duktilität wiederherstellt. Dies geschieht durch die Erwärmung auf die Rekristallisationstemperatur (550 - 700 °C), mit einer Dauer von 1 - 5 Stunden. Mit dieser Methode ist es möglich, die Form und Größe des Kornes signifikant zu verändern. Der Zweck des Glühens ist in der Regel die Verfeinerung

des Korns.

Weichglühen

Die Oberflächenspannung bewirkt die Sphäroidisierung von Eutektoidkarbidpartikeln. Durch die Umstellung von lamellarem Perlit auf Kornperlit ist es möglich, die Kaltumformmöglichkeit in kohlenstoffarmem Stahl und die Bearbeitungsmöglichkeit in Stahl mit einem C-Gehalt von über 0,4 % zu verbessern. Darüber hinaus ermöglicht das Glühen die Vorbereitung einer geeigneten Ausgangsstruktur für das anschließende Abschrecken, insbesondere bei Eutektoid- und Übereutektoidstahl. Die gleichmäßige Verteilung der körnigen Hartmetalle in der ferritischen Grundmasse erleichtert die anschließende Austenitisierung und verbessert die allgemeinen Eigenschaften nach dem Abschrecken, das insbesondere bei Lagerstählen erfolgreich eingesetzt wird. Die Glüh-temperatur ist nahe der Eutektoidtemperatur.

Die Erhöhung der Temperatur über A_{c1} oder deren Schwankung um diese Temperatur herum erleichtert und beschleunigt das Auflösen von Hartmetallteilchen. Die Glühzeit unterscheidet sich je nach Stahlart und vorheriger Wärmebehandlung von 4 h bei Kohlenstoffstahl bis 16 h bei hochlegierten Stählen. Das Glühen wird durch langsames Abkühlen im Ofen beendet.

Anti-Flake-Glühen

Es wird bei überkritischem Wasserstoffgehalt im Stahl eingesetzt, wenn Stahl anfällig für die Bildung von Innenrissen - Flocken - ist. Die Bildung von Flocken kann durch eine Langzeitbeheizung (bis zu zehn Stunden) bei Temperaturen von 650 - 750 °C verhindert werden, bei der durch eine deutliche Erhöhung der Wasserstoffdiffusionsfähigkeit im Ferrit dessen Gehalt unter den kritischen Wert sinkt. Das Glühen muss unmittelbar nach dem Gießen oder Warmumformen (vor dem Abkühlen auf die Temperatur der Umgebungstemperatur) durchgeführt werden, wenn der vorhandene Wasserstoff keine Moleküle bildet, die nicht diffusionsfähig und damit vom Stahl entfernbar sind. Nach langem Verbleiben auf der Glüh-temperatur ist es ratsam, sehr langsam auf mindestens 500 °C abzukühlen.

Glühen zur Beseitigung von Sprödigkeit nach dem Beizen.

Beim Entfernen von Enthammungen durch Beizen kommt es in Stahlbauteilen zu einer Diffusion von Wasserstoff im Metall und damit zu einer Wasserstoffbrüchigkeit. Da während des Beizens die Wasserstoffpenetration in Stahl begrenzt ist, kann Wasserstoff durch Glühen bei einer Temperatur zwischen 300 °C und 500 °C für 1 - 4 h leicht entfernt werden.

Normalisierung

Es ist eine der am weitesten verbreiteten Methoden der Stahlwärmebehandlung, da es nach dem Gießen, Formen oder logarithmischen Glühen bei hohen Temperaturen ein feinkörniges und gleichmäßiges Gefüge gewährleistet. Das klassische Verfahren wird nur für subeutektoiden Stähle angewendet, wenn bei einer Temperatur von 30 - 50 °C und einer Dauer von 1 - 4 Stunden ein feines, gleichmäßiges austenitisches Gefüge entsteht, das sich nach dem Abkühlen in ein feinkörniges ferritisch-perlitisches Gefüge mit günstigen mechanischen Eigenschaften umwandelt. Ausnahmsweise wird es bei über-eutektoiden Stählen eingesetzt, um eine bessere Umverteilung der sekundären Zementitpartikel zu erreichen, die durch langsames Abkühlen an Korngrenzen in Form von Gittern entfernt wurden. Durch das Erwärmen auf die Temperatur über Ac₁ werden Hartmetallgewebe in Austenit gelöst und durch das schnelle Abkühlen wird ein wiederholtes Entfernen an den Korngrenzen verhindert.

Homogenisierungsglühen.

Es verringert die Nichthomogenität der chemischen Zusammensetzung von dickwandigen Gussteilen, bei denen eine signifikante dendritische Segregation auftrat. Das Langzeitglühen bei Temperaturen von 1 100 bis 1 200 °C (meist etwa 200 °C unter Solidus) bewirkt eine ausreichende Diffusionsgeschwindigkeit von Kohlenstoff und anderen Elementen, um Segregation und unerwünschte Heterogenität zu reduzieren. Der Verbleib bei der Temperatur hängt von der Größe und Dicke des Gussteils ab, was in der Regel zu einer signifikanten Korngröße führt, die eine anschließende Normalglühung erfordert.

Lösungsglühen.

Diese Art des Glühens wird verwendet, um Carbide, Nitride und andere intermetallische Phasen zu lösen, was die Homogenität des Austenits und seine Sättigung mit Legierungselementen erhöht. Es wird am häufigsten bei hochlegierten Austenitstählen verwendet, bei denen durch Glühen bei Temperaturen von 1 050 - 1 150 °C eine reine Austenitstruktur erhalten wird, mit anschließender schneller Abkühlung, die eine wiederholte Beseitigung von Phasen verhindert.

Isothermisches Glühen.

Durch die Kombination von drei Glüharten (Normalisierung, weich, Spannungsreduzierung) in einem Arbeitsgang ist es möglich, ein homogeneres Feinkorngefüge mit verbesserter Bearbeitung zu erreichen. Der Prozess beginnt mit der Normalisierung, danach wird der Stahl durch einen Luftstrom auf eine Temperatur von 700 - 650 °C abgekühlt, bei der in isothermer Verzögerung die Spaltung von metastabilem Austenit in feinkörniges sphäroidisiertes Perlit erfolgt. Der Verbleib bei der Temperatur ergibt sich aus dem Kenntnis des IRA-Diagramms für die jeweilige Stahlklasse. Schließlich wird es durch die Luft gekühlt. Das Verfahren eignet sich für einige Arten von mittellegierten Stählen, die schwer weichglühbar sind.

1.3. Abschrecken

Ziel des Abschreckens ist es, die Härte, Festigkeit und Verschleißfestigkeit von Stahl zu verbessern. Diese Eigenschaften sind typisch für teilweise oder vollständig nicht ausgleichende Strukturen, die durch Abkühlung von Austenit mit überkritischer Geschwindigkeit erreicht werden können. Je nach Phase, in der sich die resultierenden Strukturen befinden, erfolgt eine martensitische oder bainitische Abschreckung.

Ein wichtiger Prozessparameter ist die Abschrecktemperatur, bei der der Stahl vor dem Abkühlen austenitisiert wird. Die richtige Abschrecktemperatur für subeutektoiden Stähle liegt bei etwa 30 - 50 °C über AC3, wo sie die homogene Struktur des Austenits vor der Zersetzung gewährleistet. Bei super-eutektoiden Stählen liegt die ausreichende Temperatur nur etwa 20 °C über AC1, wobei die Ausgangsstruktur aus einer heterogenen Struktur aus Austenit und ungelösten Karbiden besteht, die die Verschleißfestigkeit nach dem Abschrecken erhöhen. Eine unsachgemäße Abschrecktemperatur führt zu einer Erhöhung unerwünschter Phasen im Endgefüge (Ferrit) oder zu einer Verdickung des Korns, was zu Abschreckrissen führen kann.

Abschreckbarkeit ist die Fähigkeit des Stahls, durch Austenitisierung der Temperaturabsenkung einen unausgewogenen Zustand zu erreichen.

Die Abschreckfähigkeit wird durch die maximale Härte nach dem Abschrecken bestimmt; sie ist abhängig vom Kohlenstoffgehalt im Austenit. Die resultierende Härte wird auch durch die Abschrecktemperatur beeinflusst, insbesondere bei supereutektoiden Stählen.

Arten des Abschreckens

- Das einfache Abschrecken ist der einfachste Prozess. Die Temperatur sinkt unter M_s stetig ab, wenn die Umwandlung von Austenit in Martensit beginnt. Es entstehen hohe Eigenspannungen und maximale Verformungen, daher ist dieser Typ nicht zum Abschrecken von Produkten mit komplexer Form geeignet.
- Das diskontinuierliche Abschrecken beginnt mit überkritischer Geschwindigkeit, um die perlitische Umwandlung (z.B. in Wasser) zu unterstützen, und kontinuierlich mit Kühlung in gemäßigter Umgebung (z.B. Öl). Auf diese Weise wird die Differenz zwischen der Temperatur an der Oberfläche und im Inneren des Produkts sowie die thermische Belastung reduziert.
- Das isotherme Abschrecken ist ähnlich wie das thermische Abschrecken, wobei die Verweilzeit in der bainitischen Umwandlung dauert, bis die isotherme Austenitzersetzung abgeschlossen ist. Die thermische und strukturelle Belastung ist minimal, there´s keine Gefahr von Verformungen und Rissen. Das älteste iso-

therme Abschreckverfahren ist die Patentierung zur Herstellung von hochfesten Drähten.

- Das thermische Abschrecken ermöglicht es, die Temperaturen im gesamten Volumen des abgeschreckten Produkts auszugleichen. Es reduziert die Belastung und Verformung durch Aufenthalt über der MS-Temperatur. Die Kühlung im Intervall der martensitischen Umwandlung erfolgt in der Regel in der Luft. Das Verfahren eignet sich für dünnwandige Stahlprodukte mit komplexen Formen, deren bainitischer Bereich nach links verschoben ist. |
- Das Abschrecken von Getreide durch Gefrieren erfordert eine zusätzliche Kühlung in Flüssigstickstoff-Gefrierbädern, die die Stabilisierung von RA (Restaustenit) bei Stählen mit niedrigen MS- und Mf-Temperaturen verhindern soll. Es wird auf die Produkte, die bei Temperaturen unter Null arbeiten, Messwerkzeuge und Lagerstahl angewendet, wo die Formstabilität gefordert ist.
- Das kontinuierliche bainitische Abschrecken wird für Stähle mit bainitischem Bereich auf der linken Seite eingesetzt. Die resultierende Zusammensetzung besteht aus Bainit, Martensit und Restaustenit.

1.4. Anlassen

Das Anlassen ist eine Wärmebehandlungsmethode für Stahl, die in der Regel nach dem Abschrecken erfolgt. Durch das Erwärmen von abgeschrecktem Stahl auf Temperaturen, die AC1 nicht überschreiten, kommt es zur Martensitzersetzung und Umwandlung von Restaustenit. Die Gefügeveränderungen und die daraus resultierenden Änderungen der mechanischen Eigenschaften hängen im Wesentlichen von der Anlasstemperatur ab. Aus technologischer Sicht unterscheiden wir zwischen:

- Das Anlassen bei niedrigen Temperaturen (bis 300 - 350 °C), das die Eigenspannung nach dem Abschrecken verringert, den RA-Gehalt reduziert und die Abmessungen stabilisiert.
- Anlassen bei höheren Temperaturen (über 450 °C), bei dem eine vollständige Zersetzung des Martensits stattfindet, was sich durch eine deutliche Abnahme von Härte und Festigkeit, aber auch durch eine Erhöhung der Plastizität und Zähigkeit zeigt.

2. Technologien zum Schneiden von Blechen

2.1. Blechumformtechnik - Scheren

Das Scheren ist die am häufigsten verwendete Formgebung.

Es wird verwendet für:

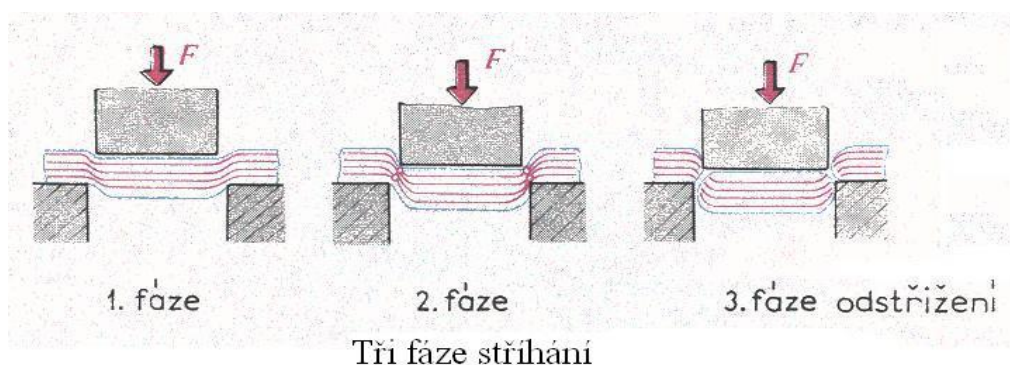
- Vorbereitung von Halbfabrikaten (Scheren von Blechen oder Coils, Profilscheren, Flachformen, etc.)
- Schneiden von Blechbauteilen entweder für den Endverbrauch oder für andere Technologieprodukte (Biegen, Extrudieren, Ziehen, etc.).
- Fertigstellung oder Nebentätigkeiten, einschließlich:
 - Stanzen,
 - Ausblendung,
 - Trimmen,
 - Rollenschneiden, etc.

Anhand der Prozesstemperatur unterscheiden wir zwei Arten der Scherung:

- **Kaltscheren** - für weiche Stähle (maximale Festigkeit 400 MPa) oder für Bleche,
- **Heißscheren** - für härtere und dickere Materialien, Erwärmung auf 700 °C

2.2. Scherprinzip

Das Scheren ist das Trennen eines Teils des Materials durch Einwirkung von gegenüberliegenden Scherkanten, die eine Gleitschubspannung in der Scherebene verursachen. Das Scherprinzip ist im Bild dargestellt. Die Scherung erfolgt in drei Phasen:



Die erste Phase ist eine Phase elastischer Verformungen, wenn das Material kompri-

miert, gebogen und in das Matrizenloch gedrückt wird.

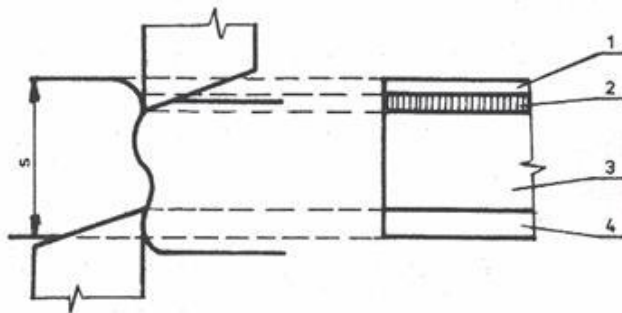
Die zweite Phase ist die Phase der plastischen Verformungen. Der Stempel wird in das Blech gedrückt, dieses wird in das Matrizenloch gedrückt und die Spannung übersteigt die Streckgrenze und nähert sich der Bruchfestigkeit am Rand von Stempel und Matrize.

In der dritten Phase entstehen an den Kanten Risse, die sich ausbreiten, bis das Material gerissen ist.

Die Scherung wird getrennt, bevor der Stempel die Dicke der Materialschere durchläuft, und die Scherung wird anschließend extrudiert. Dadurch sind die Kanten der Scherflächen nicht vollständig plan und die Schere weist eine gewisse Rauheit auf, die im Bereich nicht gleichmäßig verteilt ist.

Die Stellen, an denen die ersten Risse entstanden sind, sind rauer als die anderen Scherflächen. Allerdings wird das Material nicht exakt in der gewünschten Ebene getrennt, da das Material elastisch ist und die Spannung den Druck über die gesamte Fläche verursacht. Auf diese Weise unterscheiden wir zwischen den einzelnen Zonen auf der Scherfläche.

Das Scheren ist somit der einzige Umformvorgang, der zu den gewünschten Materialbrüchen führt. Bei der Berechnung der Umformkräfte wird dies durch die Verwendung von Festigkeitsgrenzen anstelle von Streckgrenze berücksichtigt.



Verformungszonen beim Scheren

1 - Krümmung (elastische Verformung), 2 - Reißzone, 3 - Scherzone (plastische Verformung), 4 - Druckzone

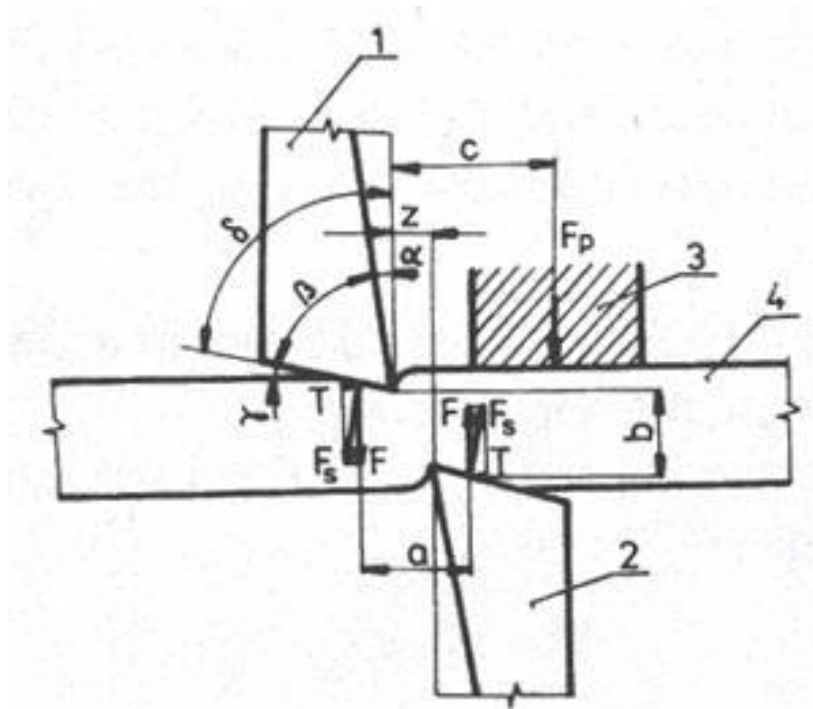
2.3. Berechnung von Kraft und Arbeitsaufwand für parallele Schaufeln

Aufgrund des Spaltes zwischen Stempel und Matrize wirken im eigentlichen Prozess die Scherkräfte nicht optimal in einer Ebene, wo sich die Scherkraft F_s in Reibung (T) und Normal (F) auflöst, was Biegemomente sowie einzelne Zonen im Endprodukt oder Halbzeug verursacht.

Das Moment $M_p = F \cdot a$ bewirkt eine Drehung des Materials, die durch einen Halter verhindert werden kann, während das Krängungsmoment $M_T = T \cdot b$ durch Vergrößerung des Spanwinkels γ reduziert werden kann.

Die Haltekraft kann als $F \cdot a = F_p \cdot c$ berechnet werden, wobei a das 1,5- bis 2-fache der Scherspaltgröße (bezeichnet als z) beträgt.

Die Kraftkomponente T bewegt die Klingen auseinander und sie werden gebogen (Bruchgefahr).



Prinzip und Kraftwirkung beim Scheren mit parallelen Messern

1 - obere bewegliche Klinge, 2 - untere unbewegliche Klinge, 3 - Halter, 4 - Material geschert

Die Größe der Scherkräfte beim Scheren mit parallelen Messern wird wie folgt berechnet:

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_s$$

wobei

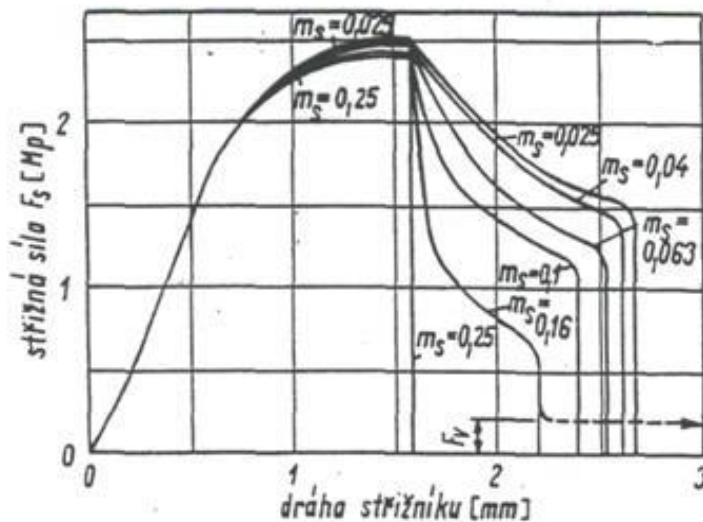
s die Dicke des Blechs [mm],

O Scherumfang [mm],

τ_s Scherspannung, Scherfestigkeit - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa],

S Querschnittsfläche in der Scherebene

- $S = O \cdot s$ [mm²].



Unsere Scherkraft beim Scheren mit parallelen Messern; Beispiel für den Einfluss des Scherspalt auf den Verlauf der Scherkraft F und die Arbeitsgröße A

Da Scherspannung, Scherfestigkeit die Werte sind, die vom Grad des durchschnittlichen Drucks des Messers in das Material abhängen, gilt die Formel nicht für den gesamten Scherprozess, aber die Scherkraft variiert vom Nullwert bis zu einem bestimmten Maximum und zurück zu Null, was hauptsächlich von der Materialdicke und teilweise auch vom Scherspalt abhängt.

Der eigentliche Scherprozess erzeugt keine reine Scherung, sondern eine kombinierte Spannung, die die Messer stumpf macht; daher wird die tatsächliche Scherkraft um 10 - 30 % erhöht. Die Scherung ist gleich der Ebene unterhalb der Kurve und hängt vom Scherspalt ab.

$$A = F_s \cdot k \cdot k \cdot z$$

wobei

k der Koeffizient des Raumes unterhalb der Kurve ist.

z Hub[mm].

2.4. Berechnung von Festigkeit und Arbeitsaufwand für schräge Klingen

Für die Berechnung von Scherkraft und Arbeitsaufwand wird eine analoge Formel bezogen auf einen Dreiecksbereich verwendet:

$$F_s = (1,1 \cdot 1,3) \cdot s \cdot b \cdot \tau_s = (1,1 \cdot 1,3) \cdot s^2 \cdot \tau_s / \operatorname{tg} \varphi$$

wobei

s Blechdicke[mm],

b Scherlänge - $b = a / \operatorname{tg} j$ [mm],

φ Scherwinkel, Messerfasenwinkel (2 - 6° bei Tafelscheren, 7 - 20° bei Hebelscheren)

τ_s Schubspannung - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa].

$$A = F_s \cdot k \cdot z = F_s \cdot k \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

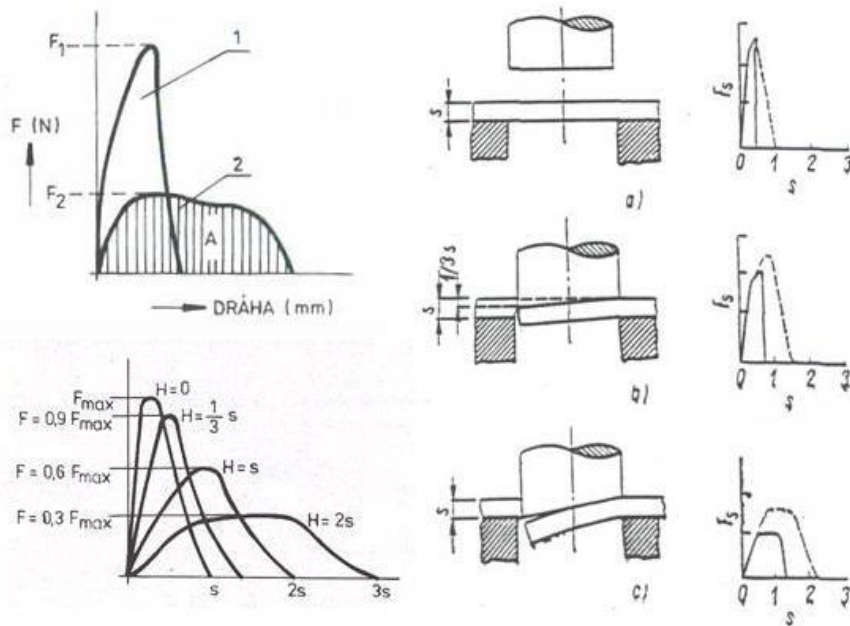
Wobei

k der Koeffizient des Raumes unterhalb der Kurve ist.

z Hub[m].

Die berechnete Kraft bleibt konstant, wenn der Schaufelhub die volle Materialstärke erreicht. Die Größe der Scherkraft nimmt ab, wenn die Messer den Hub bis zum Erreichen von Null beenden. Die erforderliche Arbeitsgröße wird berechnet und entspricht der Fläche unterhalb der Kurve.

Beim Vergleich der Größenordnung von Scherkraft und Arbeitsaufwand für das Scheren mit Parallel- und Schrägmessern ist es offensichtlich, dass das Scheren mit Schrägmessern vorteilhafter ist, da bei gleicher Blechdicke und Scherlänge viel weniger Kraft erforderlich ist als bei parallelen Messern; die Länge der Schere ist jedoch viel größer. Durch die Verringerung der Scherkraft werden die Messerhübe deutlich reduziert.



Vergleich der Scherkraft und der Arbeitskraft bei Verwendung von Parallel- und Schrägmessern (oben links) und Einfluss des Fasenwinkels auf den Kraft- und Arbeitskräfteverlauf (unten links) mit dem Verlauf der Fase 0, $1/3 H$ a $H = s$ (rechts - durchgezogene Linie ist für normale Scherung, schraffierte Linie für präzises Schneiden).

2.5. Klassifizierung der Scherung

Bei der Konstruktion der Messer unterscheiden wir zwischen verschiedenen Arten der Scherung:

- Scheren mit parallelen Messern,
- Scheren mit schrägen Messern
- Scheren mit Scheibenmessern,
- Messer zum Schneiden von Profilen und Stangen.

Scheren mit parallelen Messern

Das zum Scheren mit parallelen Messern verwendete Werkzeug besteht aus einer Quetschung und einer Matrize, zwischen denen ein Spiel- oder Scherspalt m_s ($1/2$ des Scherspalt) beträgt, da es aufgrund der Unfallgefahr nicht möglich ist, ein Werkzeug ohne Spalt zu konstruieren. Um einen Qualitätsspan zu erreichen, ist ein optimaler Abstand zwischen einem Stempel und einer Matrize erforderlich. Der einseitige Abstand liegt in der Regel zwischen 3 und 10 % der Blechdicke in Abhängigkeit von der Dicke und Festigkeit des Materials (der Abstand nimmt mit der Festigkeit zu).

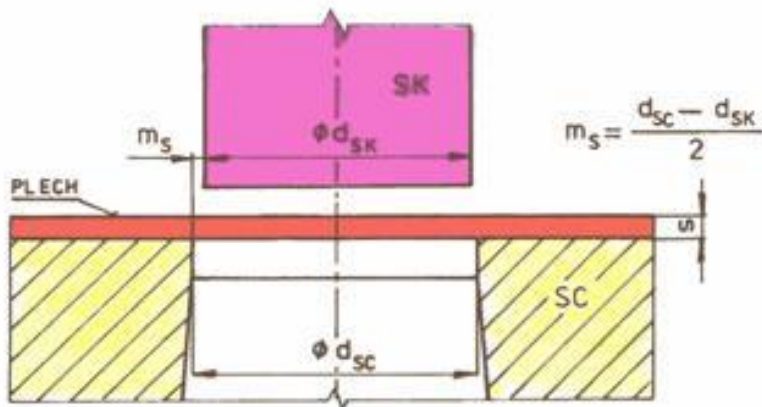
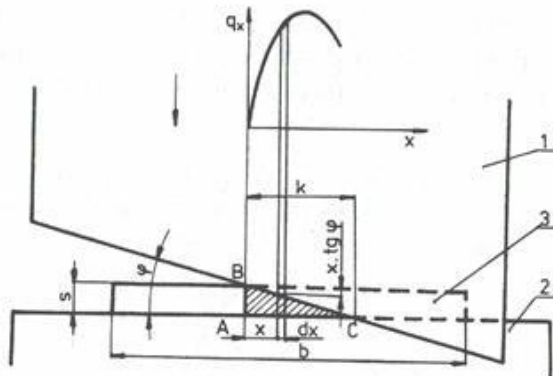


Diagramm der Scherung mit dem Scherwerkzeug (SK - Stempel, SC - Matrize)
Scheren mit schrägen Messern

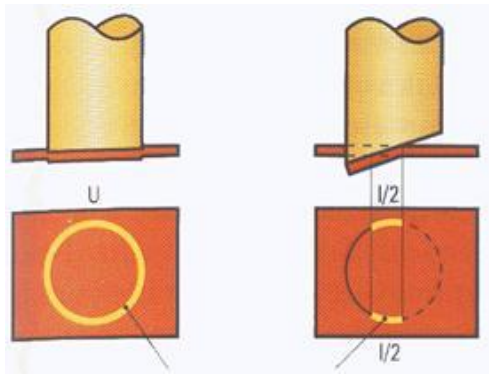
Das Scheren mit schrägen Messern, die einen bestimmten Winkel einhalten, ist geeignet, da es die insgesamt erforderliche Scherkraft im Vergleich zum Scheren mit parallelen Messern reduziert.

Das Material wird allmählich geschert. Für die Größe der Querkraft ist der wichtigste Faktor die Größe der Scherkante und die Dicke - Dreiecksfläche.

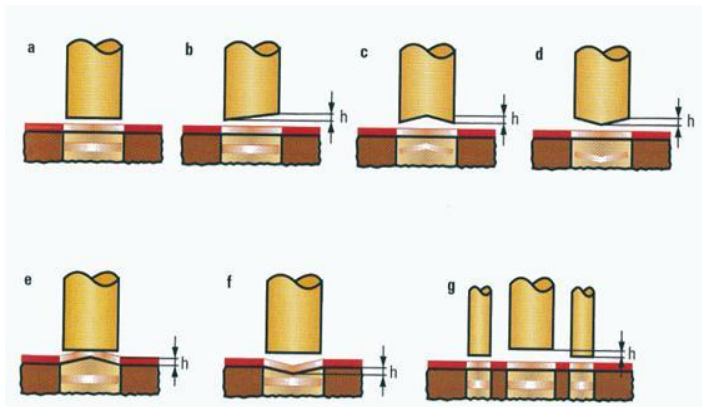


Scheren mit schrägen Messern
(1 - obere bewegliche Klinge, 2 - untere unbewegliche Klinge, 3 - geschertes Material)

Wie bei einer einfachen geraden Scherung kann der Verlauf der unmittelbaren Kraft kontrolliert werden, auch wenn die gesamte auf das Scheren ausgeübte Arbeit nicht abnimmt. Bei Instrumenten können Scherwerkzeuge aus Matrize und Scherstift für zwei der am häufigsten verwendeten Scherverfahren, nämlich Stanzen und Stanzen, auf zwei Arten eingesetzt werden:



Vergleich der Scherlänge beim Scheren mit parallelen oder schrägen Messern

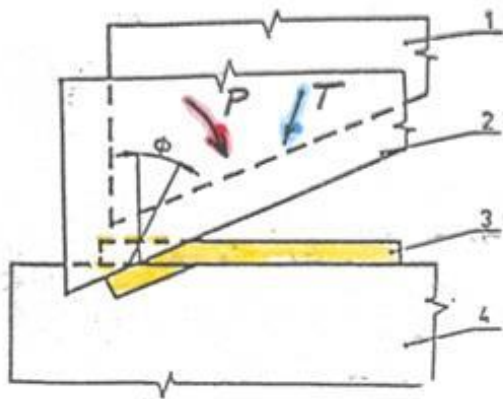


Scherstift- und Matrizenmodifikationen (a - gerade Scherung, b - einseitige Scherstiftfasse, c, d - beidseitige Scherstiftfasse, e, f - Matrizenfasse, f - abgestufte Anordnung des Scherstiftes)

Scherenmesser mit abgeschrägten Kanten werden eingesetzt, wenn wir die Scherkraft reduzieren wollen, die größer ist als die Presskraft. Beim Stanzen ist die Fase beidseitig auf der Matrize - das Produkt ist gerade, während der Abfall gebogen wird. Die beidseitige Fase gleicht die Kräfte auf den Scherstift aus und weicht nicht von der Achse ab. Die einseitige Fase wird nur zum Ausklinken verwendet. Beim Stanzen ist die Matrize gerade und der Scherstift ist abgeschrägt, das Produkt ist gerade und der Abfall ist gebogen. Beim Scheren komplexer Formen wird eine Kantenfasse nicht empfohlen.

Die Schrägschere beinhaltet Hebelscheren, deren Messer durch Winkelneigung bewegt werden. Da sich der Winkel λ beim Kippen der Messer ändert, werden Hebelscheren in der Regel mit einem oder beiden schrägen Messern ausgeführt, so dass der Winkel λ entlang der Scherlinie konstant bleibt.

Eine spezielle Methode zum Scheren mit schrägen Messern ist ein TAHANÝ STŘÍH, wenn der Scherwinkel (DRAW TAŽENÍ) φ 2 - 10° beträgt. Dieses Scherverfahren wird zum Scheren von Faserstoffen eingesetzt, wobei die Scherkraft bei dem Winkel $\varphi = 70^\circ$ um bis zu 20 % reduziert wird.



(1 - Ausgangsposition des beweglichen Messers, 2 - Position des beweglichen Messers im Scherenbetrieb, 3 - untere unbewegliche Klinge, 4 - geschertes Material)

Scheren mit Scheibenmessern

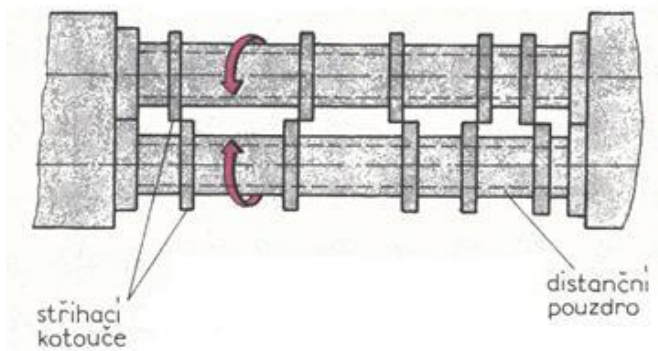
Für das Längsschneiden von langen Bändern werden Scheibenscheren verwendet. Es ist ein Scherwerkzeug mit Rollmessern.

Der Einsatz von Scheibenmessern verlängert die Scherzeit, reduziert aber gleichzeitig die Hübe. Der Winkel der Kante ändert sich von den höchsten Werten am Punkt des Hubs auf Null.

Die Kombination aus zweikegeliger und zylindrischer Klinge wird zum Schneiden von gekrümmten Formen verwendet, wobei der Vorteil der geschwenkten Werkzeugachsen genutzt wird.

Beim Kurvenscheren muss der Messerdurchmesser so klein wie möglich sein. Dies ermöglicht die Konstruktion von Scheren mit langen Scheibenträgern und damit die Handhabung von geschertem Material.

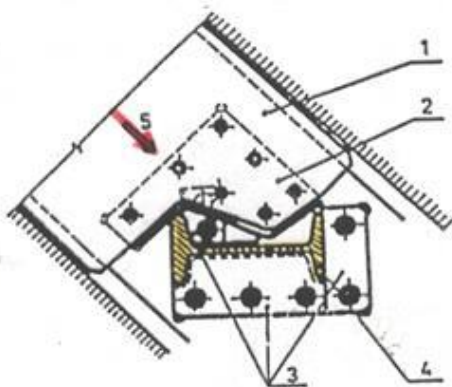
Eine besondere Art von Schergeräten sind oszillierende Scheren. Sie werden zum Fräsen und Herstellen von Nuten und Löchern verwendet. Die maximale Materialstärke beträgt ca. 10 mm.



*Kreisschere - Streifenschere - Streifenschere
Legende: střihací kotouče - Schermesser, distanční pouzdro - Koffer*

Scheren von Profilen, Stangen und Rohren

Was oft geschert wird, ist Profilmaterial, rund, rund, rund, Profile, etc. Während der Querschnitt der Funktionsteile der Werkzeuge in etwa gleich bleibt, ändert sich die Längsform je nach Scherzweck.

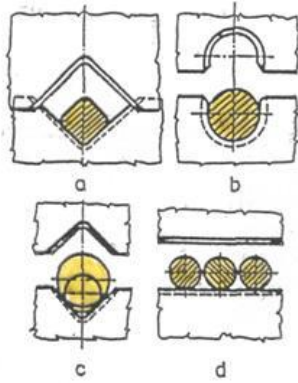


*Profilschermesser
(1 - Stempel, 2 - bewegliches Blatt, 3 - unbewegliches Blatt, 4 - geschertes Profil, 5 - Bewegungsrichtung des Blattes)*

Beim Scheren von Profilmaterial gilt das Prinzip, dass die Dicke immer nahezu gleich sein muss. Die Form der beweglichen Schaufel passt sich diesem Prinzip an. Die Abbildung zeigt die Messerform zum Scheren von Profilen und die Messerform zum Scheren von Vierkantprofilen sowie zum Scheren von Kreisformen. Bei einer Schrägbewegung des beweglichen Teils des Werkzeugs wird in Abhängigkeit vom Hub ein gleichmäßiger Scherkraftverlauf erreicht, als wenn die Bewegung des Messers von einem Teil der Querschnittsachse abhängt.

Beim Scheren von Rohren mit möglichst geringer Verformung hat der bewegliche Teil

des Werkzeugs die Form eines Spitzbogens. Das spitze Teil durchbohrt zunächst das Rohr; die Seiten schneiden dann das Rohr so ab, dass die resultierende Kante auf die Kante senkrecht zur Richtung der höchsten Zähigkeit steht. Der Scherspalt ist auf der gesamten Länge nicht gleich, er nimmt von den Seiten zur Mitte hin zu.

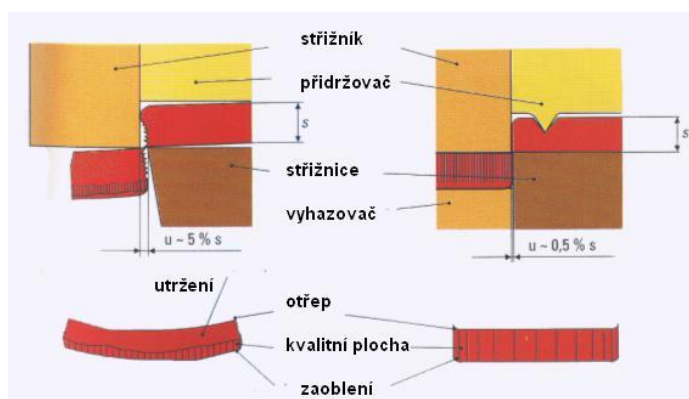


Messer zum Schneiden von quadratischem und rundem Material (a - quadratischer Querschnitt, b - kreisförmiger Querschnitt, c - Querschnitt mit unterschiedlichem Durchmesser, d - kreisförmiger Querschnitt mit zulässiger Profilverformung)

3. Feinschneiden und spezielle Scherverfahren

3.1. Feinschneiden

Mit den oben beschriebenen Scherverfahren weisen die Scherfläche und das Scherprodukt eine gewisse Standardqualität auf. Dies bezieht sich auf die Rauheit der gescherten Fläche und die Genauigkeit der Abmessungen. Die folgende Abbildung zeigt die Scherqualität für Normal- und Feinschneiden.



Legende: střížník - Scherstift, přídržovač - Halter, střížnice - Matrize, vyhazovač - Auswerfer, utržení - Riss, otrěp - Grat, kvalitní plocha - Qualitätsoberfläche, zaoblení - Krümmung

Um die gescherten Teile ohne weitere Modifikationen direkt für die Montage verwenden zu können, strebten die Technologen nach einer Verbesserung des Scherverfahrens. Alle Verfahren zur Verbesserung der Qualität der Scherfläche und der Abmessungen des gescherten Bauteils werden gemeinsam als Feinschneiden bezeichnet.

Für die Endproduktqualität ist der Abstand (Spalt) zwischen Scherstift und Matrize sehr wichtig, da durch die Vergrößerung des Spaltes die durch Biegespannung verursachten Zugkomponenten eliminiert werden und die Spannung nahe der reinen Schubspannung liegt.

Grundsätzlich lassen sich Präzisionsschermethoden in die Herstellung der Produkte unterteilen:

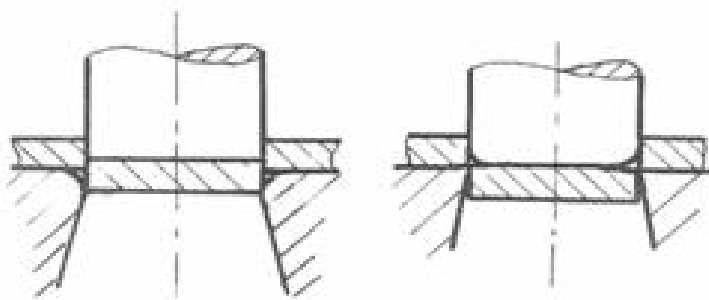
- **In einem Arbeitsgang** - spielfreies Scheren, Scheren mit Halter, Scheren mit Druckkante, Scheren mit Druckkante und Gegendruck, Umkehrscheren, Scheren mit Unterspiel, Scheren mit ESSA-Pressen,

- In zwei Arbeitsgängen - Trimmen, vibrierender Scherstift.

Spielfreies Scheren

Die spielfreie Scherung ist in der Abbildung dargestellt. Ein Funktionsteil des Werkzeugs (entweder Scherstift oder Matrize) ist ohne Kante, mit abgerundeter Scherkante ausgeführt.

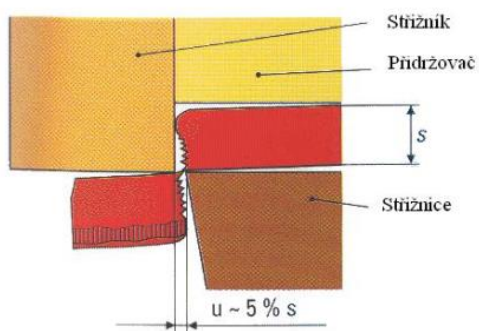
Der zweite Teil wird geschärft. Die linksseitige Anordnung verbessert die Qualität des Lochs, die rechtsseitige Anordnung verbessert die Qualität der Produktoberfläche.



Spielfreies Scheren

Scheren mit Halterung

Die Verwendung eines Halters verhindert das Verbiegen der Produktkanten und verbessert die Qualität der Oberfläche. Die Zugspannung wirkt zusammen mit der Druckspannung und verbessert so die Spannung am Scherpunkt.

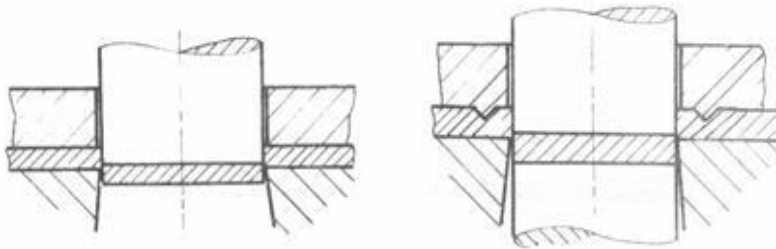


Použití přidržovače

Legende: střížník - Scherstift, přidržovač - Halterung, střížnice - Matrize, použití přidržovače - mit Halterung

Scheren mit Druckkante

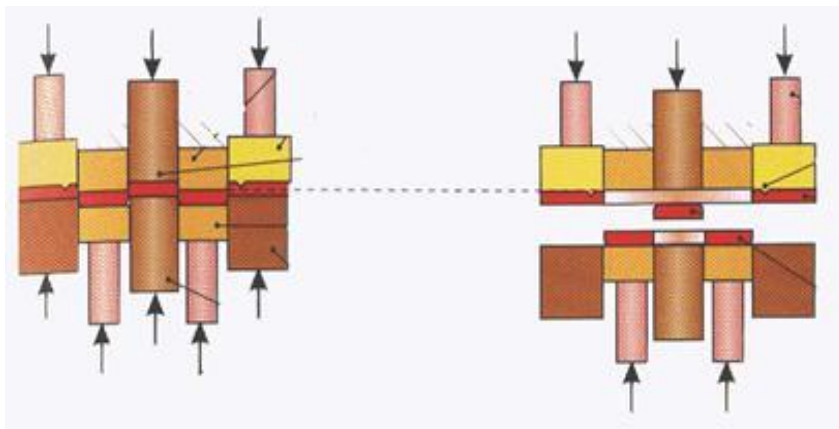
Die bisher besten Ergebnisse beim Feinschneiden wurden durch den Einsatz von Scheren mit Druckkante erzielt. Die Druckkante wird im Bereich des Scherumfangs gedrückt und verändert dort die Spannung im Scherbereich in eine dreiachsige. Die Druckkante bewirkt auch eine Kompression, die ein Annähern an die saubere Scherung erleichtert. Die Gegenpresse wird durch einen elastischen Unterstempel gewährleistet. Diese Anordnung ermöglicht das Schneiden auch von relativ dicken Materialien. Für dickere Materialien (Dicke mehr als 5 mm) können entweder zwei Umfänge verwendet werden oder einer am Scherstift und einer am Werkzeug.



Scheren mit Halter (links) und Scheren mit Druckkante und Gegendruck (rechts)

Gegenscheren

Das Gegenscheren besteht darin, das Halbzeug zu greifen, damit die Spannung nicht wirkt.



Gegenscheren

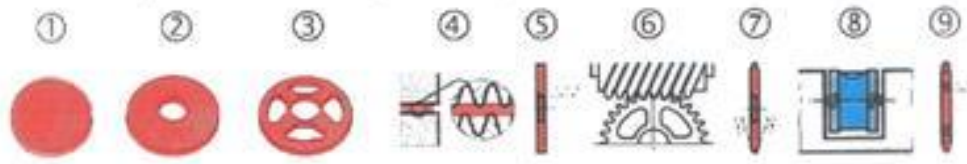
Scheren mit negativem Spiel und Verwendung der ESSA-Press

Das Scheren mit negativem Spiel ist ein Prozess, bei dem der Scherstift nicht in das Matrizenloch eindringt. Der Scherstiftdurchmesser beträgt etwa 0,1 - 0,2 % der Blechdicke größer als der Matrizendurchmesser. Der Scherstift muss 0,2 - 0,5 mm über der Matri-

zenebene liegen, was zu einer Kompression im Material und damit zu einer höheren Scherkraft führt.

Das Scheren mit der ESSA-Pressen ist das Verfahren, wenn Scherstifte gleichzeitig scheren und oszillieren und so die Scherfläche polieren.

Konvenční výroba řetězového kola pro motocykl



Výroba řetězového kola pro motocykl přesným stříháním



1. vystřihování
2. děrování
3. děrování odlehčujících otvorů
4. vyrovnávání povrchu
5. soustružení vnitřní díry a oboustranné zkosení hran
6. frézování zubů (odvalování)
7. úprava zubů
8. vrtání otvorů
9. úprava otvorů, odstranění otřepů

Legende: konvenční výroba řetězového kola pro motocykl - konventionelle Herstellung von Motorradritzeln, výroba řetězového kola pro motocykl přesným stříháním - Herstellung von Motorradritzeln mittels Feinschneiden, 1 - Scheren, 2 - Stanzen, 3 - Herstellen von Entlastungslöchern, 4 - Oberflächenbehandlung, 5 - Herstellen von Innenloch, beidseitige Kantenfäse, 6 - Zahnfräsen, 7 - Modifikation von Zahnfräsen, 8 - Bohren von Löchern, 9 - Modifikation von Löchern, Entfernen von Graten

3.2. Scherenpläne

Beim Scheren ist es sehr wichtig, die Teile so auf das Blech zu legen, dass möglichst wenig Abfall entsteht. Die Platzierung auf den Teilen auf dem Blech wird dann als Scherplan bezeichnet. Abfall (sowohl technologisch als auch bautechnisch) ist ein untrennbarer Bestandteil der Schertechnologie, die einer der Massenproduktionsprozesse ist; daher muss der Platzierung der Teile große Aufmerksamkeit geschenkt werden, da das Material etwa 60 - 70 % der Gesamtkosten ausmacht. Die Wahl des Scherplans hängt von der Form und Struktur des Produktes, der Einhaltung der Konstruktionsprinzipien,

den Mindestabständen zwischen den Produkten und dem Abstand vom Blechrand ab.

Scherpläne können entweder ein Stückplan sein, wenn die am besten geeignete Schermethode gewählt wird, oder ein groß angelegter Scherplan, wenn verschiedene Formen und Komponenten eines Produkts geschert werden sollen.

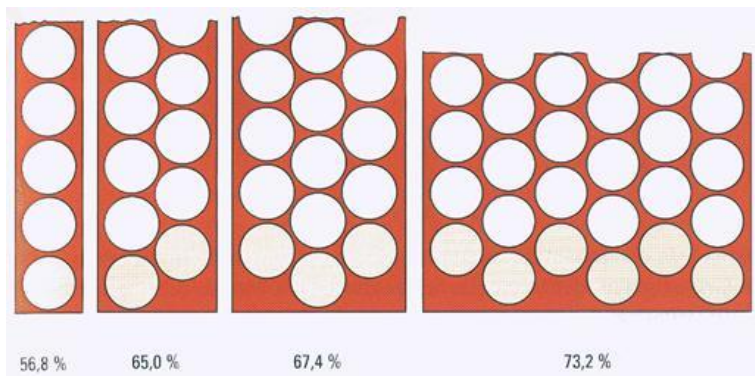
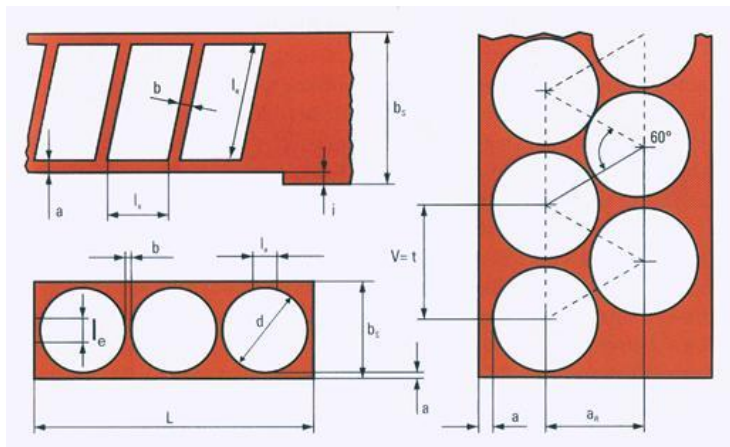
Die Schereffizienz ist gekennzeichnet durch den Koeffizienten des Materialeinsatzes, ausgedrückt als:

$$\eta = S_o / S_p \cdot S_p$$

wobei

S_o.... die Gesamtfläche der Produkte[mm²],

S_p..... Bereich des Blechbandes[mm²].



3.3. Scherwerkzeuge

Scherwerkzeuge sind die Werkzeuge, bei denen die Funktion des oberen beweglichen

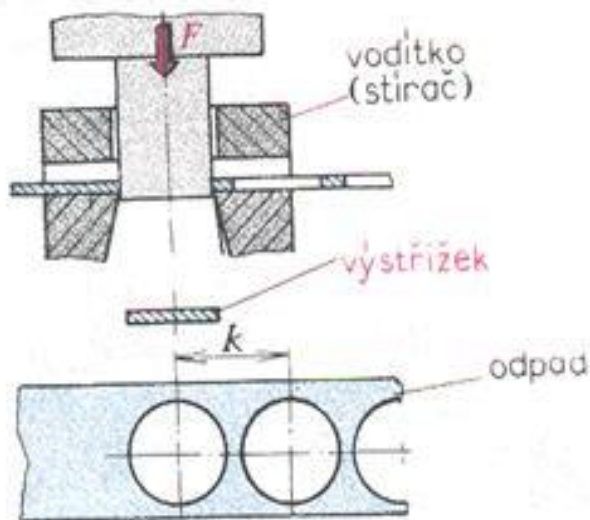
Messers durch einen Scherstift und die Funktion des unteren unbeweglichen Messers durch die Matrize ausgeführt wird.

Klassifizierung:

- Nach Anzahl der Operationen
- Einzelbetrieb,
- progressiv,
- kombiniert,
- Verbindung,
- Verbindung progressiv,
- nach Betriebsart
- Scheren,
- Biegen,
- Ziehen, etc.
- nach Anzahl der Produkte
- Einzelprodukt
- mehrfach.

Einoperationsscherenwerkzeuge

Der erste Typ ist ein einstufiges Scherwerkzeug. Die Position des Bandes wird durch einen Anschlag sichergestellt, die Bewegung erfolgt in einem Schritt (Größe des Produktes plus Zugabe).



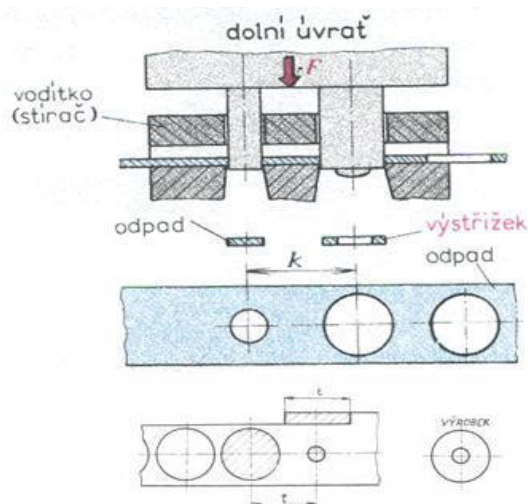
Einoperationsscherenwerkzeug

Legende: voditko, stirač - Stripper, výstrižek - Produkt, Odpad - Abfall

Progressive Scherwerkzeuge

Progressives Scherwerkzeug macht das Produkt schrittweise, mit mehreren Schritten und mehreren Arbeitsgängen. Ein Lastanschlag wird verwendet, wenn ein neuer Riemen eingesetzt wird. Die Position des Bandes wird durch einen festen Endanschlag sichergestellt.

Die Funktion des Werkzeugs ist in der Abbildung zu sehen. Es gibt 3 schraffierte Bereiche, die in einem Zug geschoren werden. Der rechteckige Bereich wird durch einen seitlichen Scherstift abgeschnitten, der eine sogenannte Stufe gewährleistet, d.h. die Bewegung des Riemens um den Abstand t . Kreisförmige Flächen mit unterschiedlichen Durchmessern stellen unterschiedliche Produkte dar. Die Bewegung des Riemens erfolgt von rechts nach links. Das rechte (kleine) runde Produkt geht in den Abfall, auf der linken Seite sind die fertigen Produkte (Waschanlagen) zu sehen.



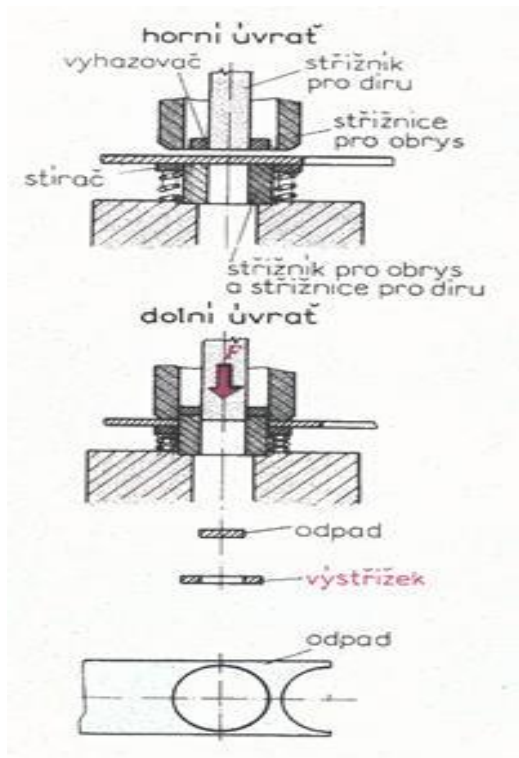
Progressives Scherwerkzeug

Legende: dolní úvrat - niedrigerer Totpunkt

Kombinierte und zusammengesetzte Scherwerkzeuge

Ein kombiniertes Scherwerkzeug ist für mehrere Arbeitsgänge pro Schritt ausgelegt. Auf diese Weise wird z.B. Stanzen und Stanzen während des Scherens durchgeführt.

Im Gegensatz dazu ist ein Verbund-Scherwerkzeug so konzipiert, dass es verschiedene Aufgaben in einem Schritt (z.B. Scheren, Biegen, Ziehen, etc.) oder in mehreren Schritten kombiniert. Dies wird als Verbund-Folgewerkzeug bezeichnet. Die einzelnen Arbeitsgänge werden durch die Konstruktion des Scherstiftes oder des Werkzeugs als solches sichergestellt.



Kombiniertes Scherwerkzeug

Legende: horní úvrať - oberer Totpunkt, vyhazovač - Auswerfer, střížník pro díru - Scherstift zur Herstellung von Löchern, střížnice pro obrys - Matrize zur Herstellung von Konturen, střížník pro obrys - Scherstift zur Herstellung von Konturen, střížnice pro díru - Matrize zur Herstellung von Löchern, dolní úvrať - unterer Totpunkt

3.4. Spezielle Scherverfahren

Scheren mit Hilfe von Gummi

Das Scheren mit Hilfe von Gummi wird zum Scheren des Produkts aus dünnem Weißblech verwendet. Das Scherwerkzeug besteht hier aus einer Stahlplatte, deren Dicke 6 - 10 mm beträgt, mit der gleichen Kontur wie die Produktkontur, und Gummi, entweder in einem Rahmen fixiert oder lose auf einem Halbzeug platziert.

Mit diesem Werkzeug kann das Beschnitt, Stanzen oder eine Kombination aus Beschnitt und Stanzen durchgeführt werden. Die Dicke der Gummiplatte beträgt ca. 150 mm und besteht aus mehreren Komponenten.

Der Stahlrahmen ist sehr beansprucht, ebenso wie die Stahlschneidplatte, die eine glatte Oberfläche aufweisen muss, damit sie keine Spuren auf dem Endprodukt hinterlässt.

Der Vorteil ist die Einfachheit und der niedrige Preis des Werkzeugs, die Möglichkeit, verschiedene Teile gleichzeitig zu scheren, oder eine mögliche Kombination mit dem Ziehen. Nachteile sind das Abfallvolumen, die Beschränkung der Dicke und die geringe Haltbarkeit des Gummis.

Scheren mit erhöhter Geschwindigkeit

Das Scheren mit erhöhter Geschwindigkeit basiert auf der Minimierung des Volumens bei verminderter Plastizität. Die Risse liegen sehr dicht beieinander, was zu senkrechten und planaren Scherflächen führt.

Dies ist nur bei kritischen Drehzahlen möglich, wobei die Werte für Kohlenstoffstahl zwischen 3 - 5 m. s⁻¹ liegen.

4. Massen-Umformungen-Technologien- Extrusion

4.1. Massen-Umformung-Technologien - Extrusion

Die Extrusion ist eine Technologie, die bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt werden kann - es gibt die Heißextrusion, die Warmextrusion und die Kaltextrusion. Die Spannung im verformten Teil des Materials ist dreiaxial, unter Druck von allen Seiten. Das zu formende Material wird in die durch die Konstruktion der Formmaschine - Extruder bestimmte Richtung bewegt. Das Produkt wird dann als Extrudat bezeichnet.

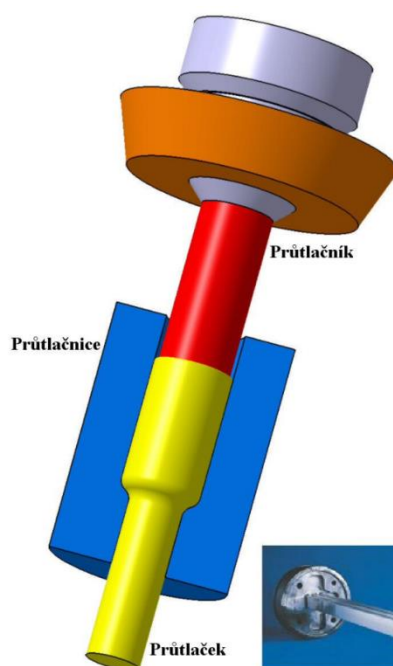
Es gibt zwei Arten dieser Technologie. Der erste Typ beschtigt sich mit der Herstellung von Endprodukten, der zweite Typ mit Halbfabrikaten (Rohre, Stangen, Profile, etc.). Seit mehr als 100 Jahren wird Kaltfliepressen zur Verformung von Leicht- und Nichteisenmetallen eingesetzt. Diese Technologie wurde z.B. zur Herstellung von Tuben, Kartuschen, etc. eingesetzt.

Heißextrusion

Diese Technologie wird für Stangen und Rohre mit kompliziertem Querschnitt eingesetzt, die nicht durch Walzen hergestellt werden können.

Kaltfliepressen

Mit dieser Technologie werden dünnwandige Körper hergestellt: Kartuschen, Tuben, Spraydosen.

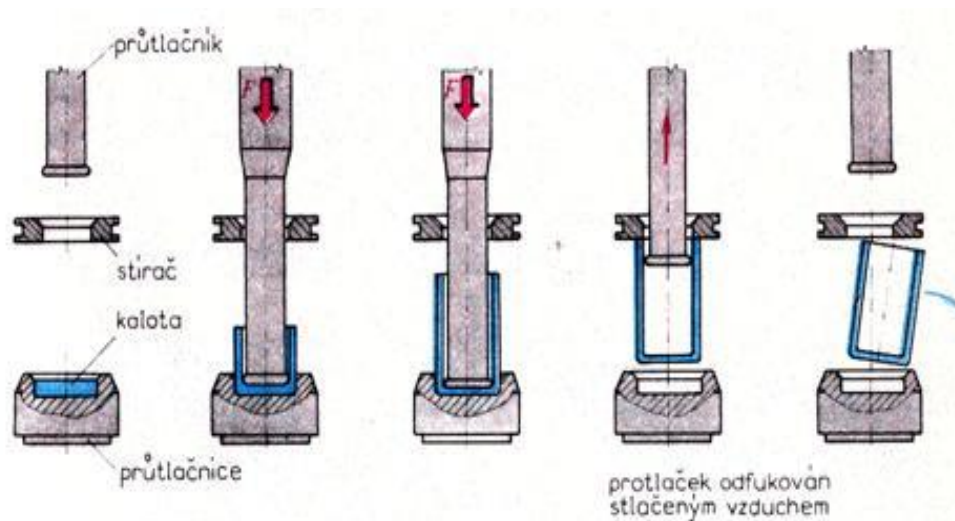


Legende: prtlank - Schieber, prtlaek - Extrudat, prtlance - Matrize, protlačovc nstroj - Extruder



4.2. Extrusionsprinzip und Einfluss des Materials

Das Extrusionsprinzip besteht in der Materialverformung durch die Kräfte, die in einer vorgegebenen Richtung wirken und zur Herstellung eines Endprodukts mit gewünschten mechanischen Eigenschaften und Abmessungen führen. Die Extrusion ist eines der Verfahren, das am meisten zur deutlichen Senkung der Produktionskosten und damit zur Rationalisierung der Produktion beigetragen hat. Die Präzision von Extrudaten ist in der Regel sehr hoch ($\pm 0,05$ mm), so dass es nicht notwendig ist, sie vor der Montage zu dimensionieren. Auch der Materialeinsatz ist sehr hoch (90 - 100 %).

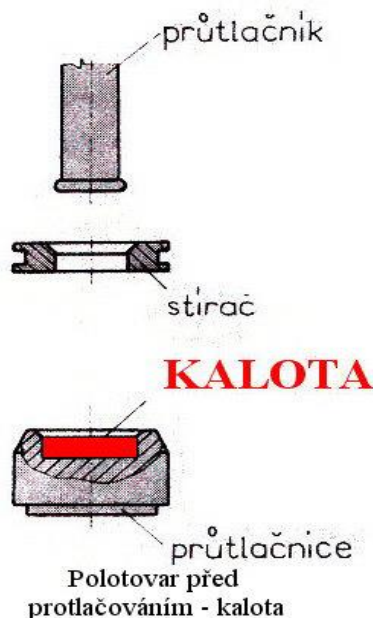


Legende: průtlačník - Pusher, stírač - Stripper, Kalota - Kalotte, průtlačnice - Die, protlaček odfukován stlačeným vzduchem - Extrudat durch Druckluft abblasen

- Die Qualität und der Ausgangszustand des Materials beeinflussen die Extrusionstechnik und den Prozess maßgeblich.
- Aufgrund der Widerstandsgröße sind für die Extrusion Materialien mit mehr als 10% Duktilität und 50% Kontraktion (Stähle mit einem C-Gehalt bis zu 0,2 %) geeignet.
- Ungeeignete Werkstoffe sind solche, die einen Umformdruck von mehr als 2500

MPa erfordern oder wenn es aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung nicht möglich ist, während eines Arbeitsgangs mindestens 25% Verformung vorzunehmen.

- Materialien mit geringer Umformfestigkeit (Aluminium und seine Legierungen) können in einem Arbeitsgang extrudiert werden.
- Stähle und andere Metalle werden in mehr als einem Arbeitsgang extrudiert. In einigen Fällen ist ein Zwischenglühen erforderlich (zuerst Rekristallisation und dann Weichglühen).
- Die maximale Reduzierung pro Strang wird durch die zulässige Spannung der Vorrichtung begrenzt. Die Reduzierung z.B. für Stahl mit einem C-Gehalt von 0,1% beträgt bis zu 60 %.
- Vor der Extrusion muss das Material durch Richten und Teilen in Kalotten, einschließlich Wärmebehandlung, modifiziert werden, gefolgt von einer Oberflächenbehandlung.



Legende: polotovar před protlačováním (kalota) - Halbzeug vor der Extrusion (Kalotte)

4.3. Arbeits- und Folienkalkulationen

Für die Kaltextrusion sind hohe Verformungskräfte erforderlich, abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Materials, der Vorbereitung und Wärmebehandlung, der Schmierung, der Werkzeuggeometrie (je größer, desto höher die Kraft), der Größe der Reduktion (je größer, desto höher die Kraft), der Wanddicke (je dünner, desto höher die Kraft), dem Maschinentyp. Die notwendigen Kräfte und Arbeitskräfte sind schwer zu berechnen und werden hier nicht erwähnt. Der Kaltextrusionswiderstand wächst mit dem Grad der Materialverstärkung, und die Berechnung sieht wie folgt aus:

$$\text{kostř} = (\text{ko1} + \text{ko2}) / 2,$$

Es ist das Gleiche, auch wenn es keine Linie, sondern eine Kurve ist. Beim Warmfließpressen ist der Widerstand konstant.

4.4. Einfluss der Reibung

Einer der entscheidenden Faktoren im Extrusionsprozess ist die Reibung, die den Prozess, die Qualität des Produkts und die Wirtschaftlichkeit der Produktion, insbesondere bei Stählen, maßgeblich beeinflusst - eine entsprechende Oberflächenbehandlung ist erforderlich, da sonst Trockenreibung entsteht und das Werkzeug brennt. Die Oberflächenbehandlung besteht aus:

- Beseitigung von Oberflächenfehlern (Strahlen, Schleifen, Beizen bei Al, ...),
- Chemische und mechanische Reinigung (Waschen, Trocknen,...),
- Phosphatierung (Phosphatoberfläche hat eine hohe Haftung zum Ausgangsmaterial, das meist eine Scheibe oder eine Scheibe mit einem Loch, der sogenannten Kalotte, ist. Dadurch kann die Materialoberfläche aufgrund der Porosität der Phosphatschicht bei hohem Druck, die erstmals in den 1930er Jahren eingesetzt wurde, geschmiert werden,)
- Auftragen einer Gleitmittelschicht (z.B. durch Lösen von organischem Öl und Seife).

Die Größe der Reibungskräfte hängt auch von der Rauheit der Druck- und Matrizenoberfläche und deren Verschleiß an kritischen Stellen ab. In einigen Fällen wird Glas mit einer geeigneten chemischen Zusammensetzung als Schmiermittel für die Heißextrusion verwendet. Beim Extrudieren schmilzt das Glas (und es ist notwendig, die glasartige Folie zu entfernen). Bei Nichteisenmetallen wird ein sogenanntes Chemise verwendet / Spalt zwischen Schieber und Matrize, ca. 2 - 4 mm, wobei das Material austritt und als Schmiermittel wirkt.

4.5. Klassifizierung der technologischen Verfahren der Extrusion

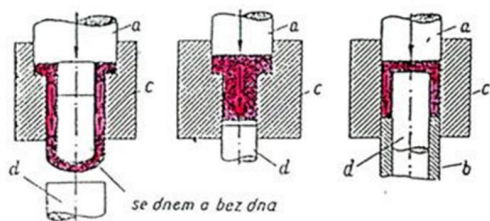
Die Extrusion wird durch die Bewegungsrichtung und das Werkzeug in mehrere Typen unterteilt:

- Vorwärts (direkt),

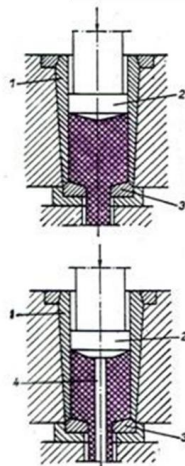
- rückwärts,
- kombiniert,
- Seitenextrusion,
- radial.

Direktextrusion

Beim Vorwärts-(Direkt-)Extrudieren bewegt sich das Material in die gleiche Richtung wie der Schieber. Das Ausgangshalbfabrikat ist eine Kalotte, die durch z.B. Blechpressen oder Stangentrennen gewonnen wird. Es wird zum Formen von Bolzen, Bolzen, Buchsen usw. verwendet, d.h. von Produkten mit nicht konstantem Querschnitt.



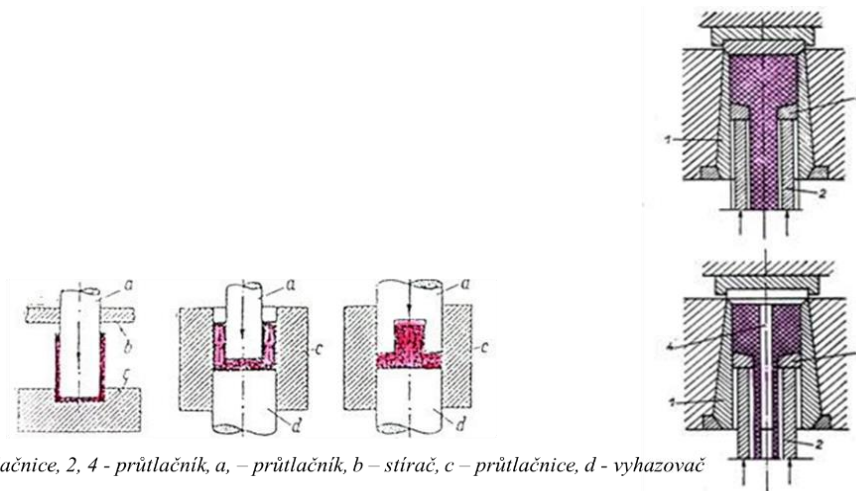
1, 3 – průtlačnice, 2, 4 –
průtlačník, a, – průtlačník,
b – stírač, c – průtlačnice,
d - vyhazovač



Legende: 1,3 - Matrize, 2,4 - Drücker, b - Stripper, d - Auswerfer, se dnem a bez dna - mit und ohne Boden

Rückwärtsextrusion

Bei der Rückwärtsextrusion bewegt sich das Material in die entgegengesetzte Richtung. Es wird zur Herstellung von Hohlextrudaten mit Rippen verwendet, bei denen die Wanddicke im Vergleich zu einem Durchschnittswert sehr klein oder sehr hoch ist.

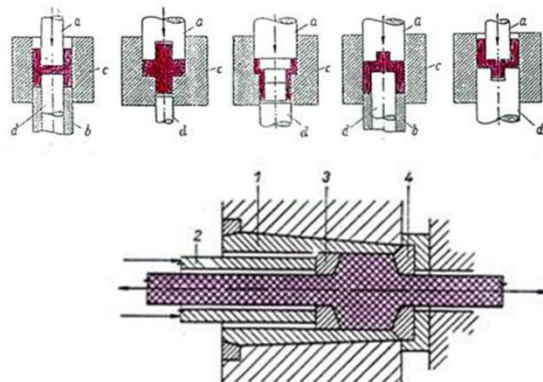


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

Kombinierte Extrusion

Es wird zur Herstellung von Profilen verwendet, die stark beansprucht werden und keine zylindrische Form haben müssen.

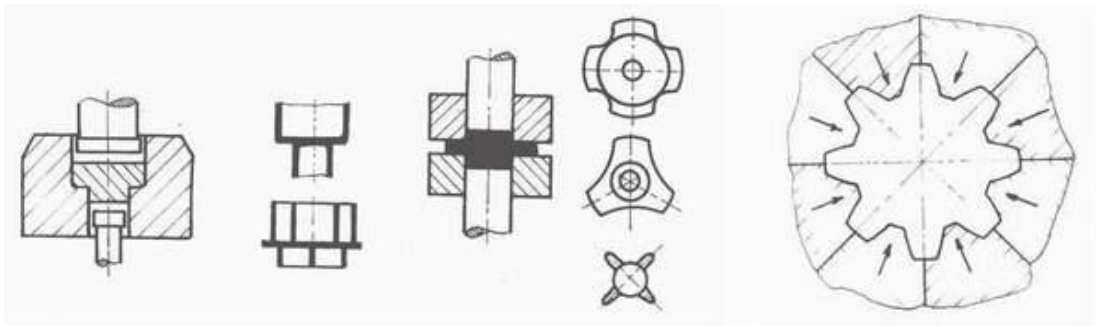
Bei der kombinierten Extrusion bewegt sich das Material in beide Richtungen, wenn der Verformungsgrad im unteren Teil der Extrudate am Boden einer Matrize niedriger sein muss als im oberen Teil, der durch einen Schieber gebildet wird; sonst gelangt das Material nicht in den Boden.



1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

Seiten- und Radialextrusion

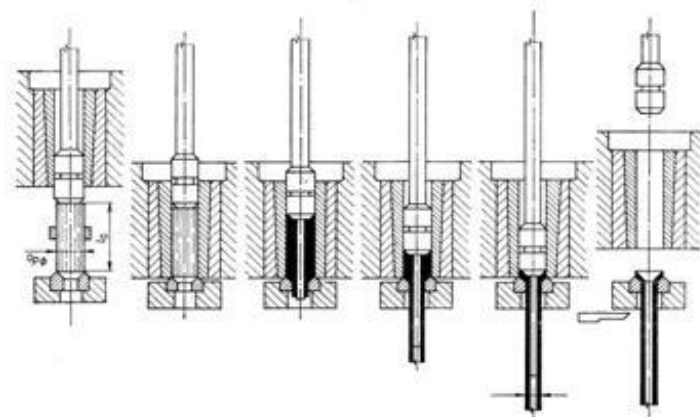
Beim Seitenextrudieren bewegt sich das gebildete Material senkrecht zur Richtung der Schubbewegung. Es wird zur Herstellung von Extrudaten mit beidseitiger Außen- und Innenlagerung verwendet. Das Radialextrudieren besteht in der Umformung, bei der sich das Material und die Maschinenteile in radialer Richtung zur Materialachse bewegen.



4.6. Spezielle Extrusionsverfahren

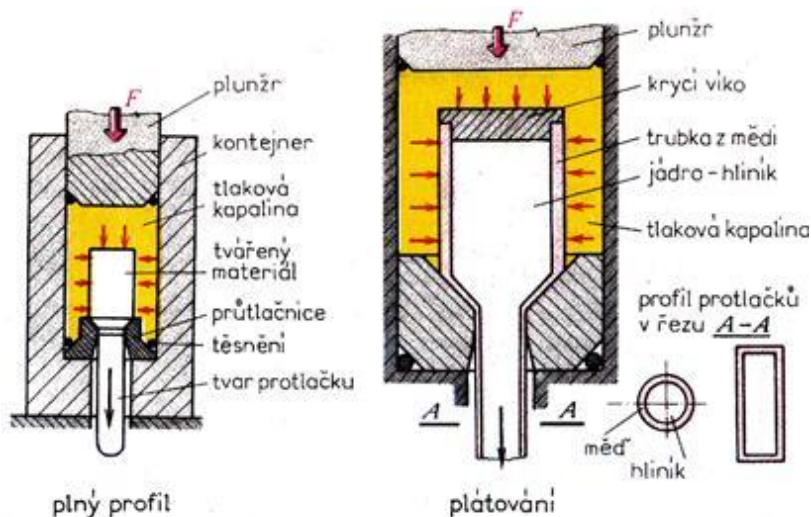
Rohrextrusion

Für die Technologie der Rohrextrusion sind die ersten Halbzeuge Walzblocks von gewünschter Länge. Es folgen das Erwärmen und Stanzen sowie die Vorwärtsextrusion. Wenn der Prozess abgeschlossen ist, befindet sich im Werkzeug Restmaterial, technologischer Abfall, der entfernt werden muss. Der Verformungsgrad ist hoch, der Verlängerungskoeffizient beträgt 8 - 25 (aus dem Halbzeug mit 700 mm Länge und 200 mm Durchmesser kann ein Rohr mit einer Länge von 6-18 mm hergestellt werden).



Hydrostatisches Strangpressen

Eine weitere spezielle Technologie ist die hydrostatische Extrusion, bei der das Halbzeug von einem Fluid mit hohem Druck umgeben ist. Dadurch entsteht eine Spannung auf allen Seiten und die Verformbarkeit des Materials nimmt zu. Die technologischen Möglichkeiten der hydrostatischen Extrusion sind so weit fortgeschritten, dass die Extrusion ohne Phosphatschicht oder für die kupferbeschichteten Produkte durchgeführt werden kann. Der hydrostatische Druck beträgt bis zu 3000 MPa. Die Umformung in einem Arbeitsgang kann bis zu 80% betragen.



Legende: plunžr - Kolben, kontejner - Behälter, tlaková kapalina - Druckflüssigkeit, tvářený Material - gebildetes Material, průtlačnice - Matrize, těsnění, tvar protlačku - extrudierte Form, plný Profil - Vollprofil, krycí víko - Deckel, trubka z mědi - Kupferrohr, jádro - Kern, hliník - Aluminium, Profil protlačků v řezu A-A - Profil von Extrudaten im A-A-Profil, měď - Kupfer, hliník - Aluminium, plátování - Verkleidung

4.7. Extrusionsmaschinen und -werkzeuge

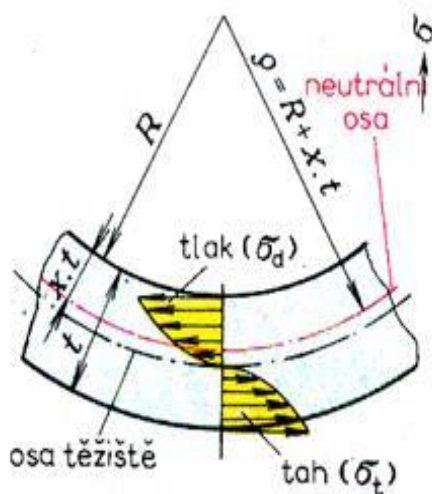
Ein wichtiger Faktor ist auch die Konstruktion des Werkzeugs und die Geometrie von Matrize und Schieber. Es ist nicht möglich, Fasen, Radien, Krümmungen (zaoblení) usw. der Formteile des Werkzeugs auszuwählen. Ein Werkzeug, dessen Hauptteile Schieber und Matrize sind, wird einem bestimmten Druck ausgesetzt, weshalb Material, Wärmebehandlung und Oberflächenrauheit wichtig sind. Die Lebensdauer der Formteile des Werkzeugs liegt zwischen 3000 und 50000 Stück. Der Kaltextrusionsprozess von Stählen wird durch die Festigkeit des Matrizenmaterials begrenzt; beim Rückwärtsextrudieren auch durch die Festigkeit des Pushermaterials.

Für die Kaltextrusion werden hauptsächlich mechanische Kurbel- und Kniehebel-Vertikalpressen und hydraulische Pressen eingesetzt. Die Presskraft beträgt 300 - 120000 kN. In der Warmfließpresstechnik sind die Materialprozesse die Materialien, deren Kaltverformbarkeit begrenzt ist und die teuer wären (z.B. Walzen). Nach der Extrusion werden die Extrudate durch den Ejektor ausgeworfen oder mit Druckluft geblasen. Bei der kombinierten Extrusion werden die Extrudate vom Auswerfer oder Stripper ausgeworfen (je nachdem, ob sie am Schieber haften bleiben oder im Werkzeug verbleiben). Die Innenwände der Extrudate sind leicht konisch mit einer Fase von 1 - 20. Das Werkzeug muss Löcher für Luft- und Schmierstoffleckagen aufweisen.

5. Biegen

5.1. Technologie der Blechumformung - biegen

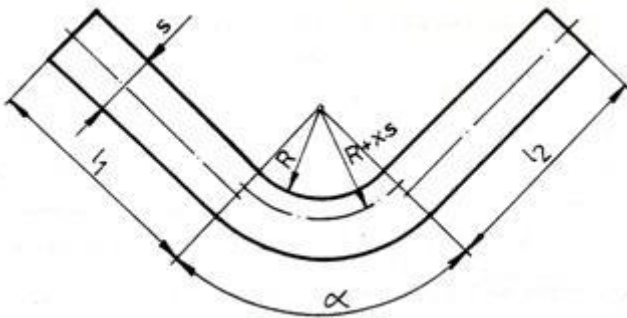
- Biegen ist ein Umformprozess, bei dem das Material in verschiedenen Biege­winkeln mit höherer oder kleinerer Kantenverrundung verformt wird.
- Zum Biegen wird ein Biegewerkzeug verwendet, das aus einem Biegestempel und einer Biegematrix besteht.
- **Das Produkt ist ein Stanzen (Biegen).**
- Das Biegen (die resultierenden Formen können in ihre ursprüngliche Form zurückgebracht werden) in die gewünschte Form funktioniert nach den gleichen Prinzipien der Plastizität wie bei anderen Umformverfahren. Bei Überschreitung der Streckgrenze wird eine plastische Verformung erreicht. Die plastische Verformung wird von einer elastischen Verformung begleitet. Es handelt sich um eine elastische plastische Verformung mit einem anderen Verlauf von der Materialoberfläche zur neutralen Achse.



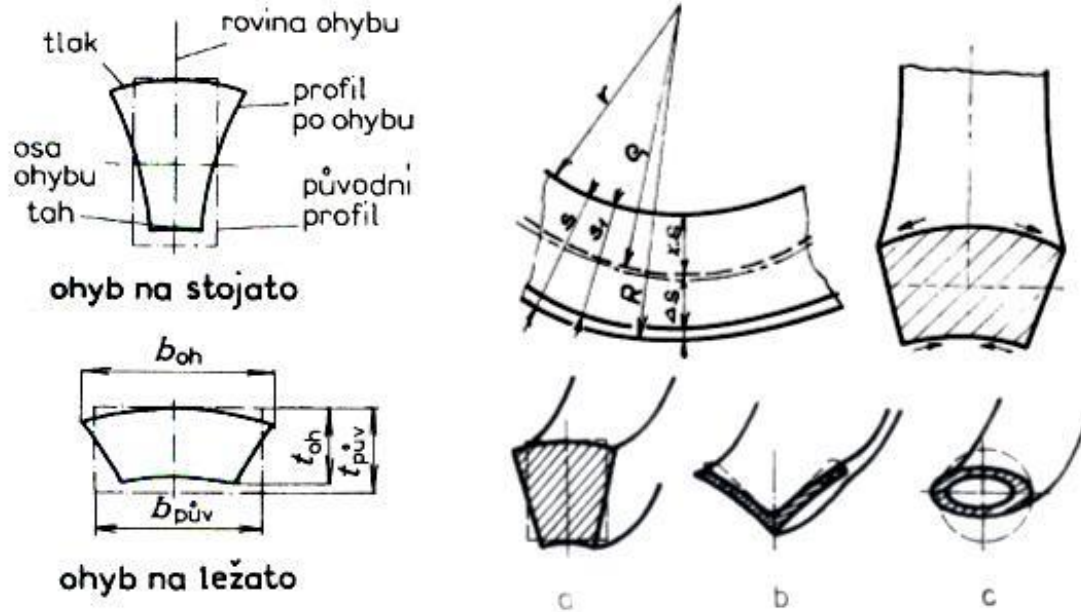
Legende: *neutrální osa* - neutrale Achse, *osa těžiště* - Schwerpunktsachse, *tlak* - Druck, *tah* - Zeichnung

5.2. Verformung des Querschnitts, neutrale Achse

- Biegen verformt den Querschnitt. Bei größerem Querschnitt ist die Verformung höher als bei kleinerem Querschnitt. Bei breiten Bändern ($b \geq 3s$) wird das Material nicht verformt, da der Widerstand des Materials mit großer Breite (aufgrund seiner geringen Dicke) gegen die Verformung in Querrichtung wirkt. Metallschichten an der Außenseite der Biegung dehnen sich aus und erstrecken sich in Längsrichtung und drücken in Querrichtung.
- Um den zentralen Teil des Abschnitts des gebogenen Materials herum erreicht die Zugspannung niedrigere Werte als die Streckgrenze des Materials. Zwischen den beiden Bändern sind die Fasern spannungsfrei und es gibt keine Verformung. Ihre Verbindungen bilden eine so genannte neutrale Achse, in der es keine Spannung gibt und die sich beim Biegen weder verkürzt noch verlängert. Die neutrale Achse befindet sich am Anfang in der Mitte des Abschnitts, beim Biegen bewegt sie sich zur Innenseite der Biegung. Sie ist daher nicht identisch mit der Schwerpunktsachse des gebogenen Materials.



Bewegung der neutralen Achse am Biegepunkt



Querschnittsverformung beim Biegen für verschiedene Höhen und Profile
 Legende: tlak - Druck, osa ohybu - Biegeachse, tah - zeichnen, původní Profil - Anfangsprofil, Profil po ohybu - Profil nach dem Biegen, rovina ohybu - Biegeebene

Die Länge des Halbzeugs vor dem Biegen wird aus der Länge der neuronalen Achse bei Biegeteilen und aus der Länge der geraden Abschnitte bestimmt. Bei dünnen Blechen ist der Unterschied nicht signifikant, muss aber bei dicken Blechen berücksichtigt werden. Der Abstand x , der die Position der neutralen Achse kennzeichnet, ist abhängig vom R/t - siehe Tabelle. Der Biegeradius der neutralen Achse beträgt

$$\rho = R + x \cdot T$$

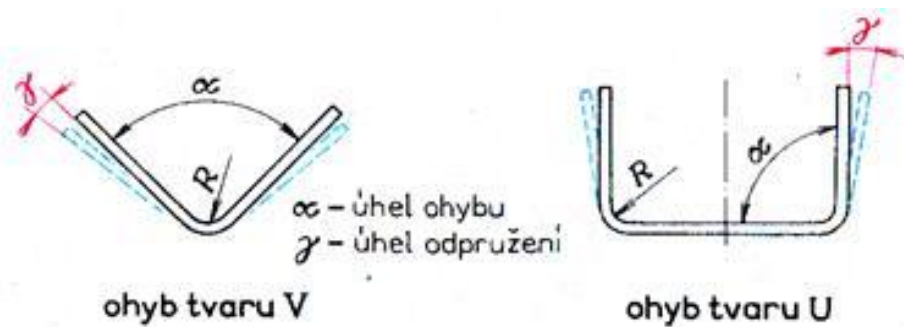
wobei

R der innere Biegeradius[mm],
 x Koeffizient der Bewegung der neutralen Achse,
 t ... Materialstärke[mm].

5.3. Dämpfung

Wenn die äußeren Kräfte nicht mehr auf den zu verformenden Körper wirken, kehren die Abmessungen des Körpers teilweise in den Ausgangszustand zurück, d.h. der Körper dämpft. Während bei den oben genannten Technologien die Dämpfung vernachlässigbar war, ist sie beim Biegen wichtig. Die Dämpfung beim Biegen zeigt sich als ein Winkel deviation, dessen Bedeutung mit der Länge der Arme zunimmt. Die Rückwärtsdämp-

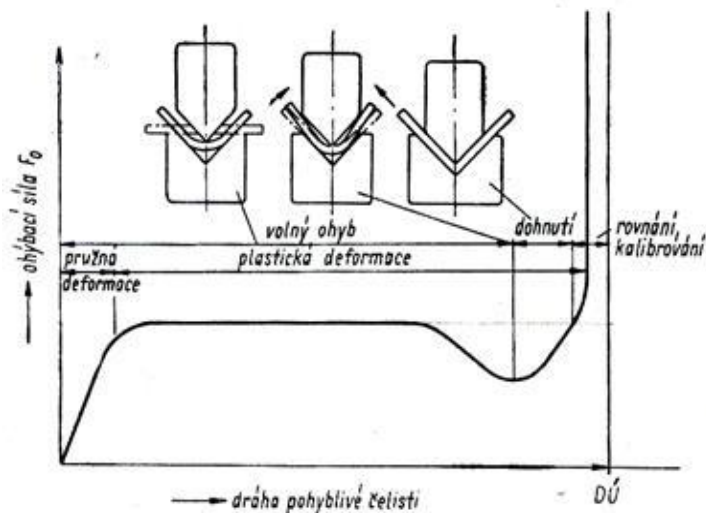
fung der Biegeteile wird durch die elastische Verformung des Materials um die Neutralachse verursacht. Die Größe der Winkel hängt von der Materialverformbarkeit, dem Biegeradius und der Biegemethode ab. Sie liegt in der Regel zwischen 3 und 15°.



Legende: úhel ohybu - Biegewinkel, úhel odpružení - Dämpfungswinkel, ohyb tvaru V/U - V/U-Form Biegung

Die Dämpfung ist meist wie folgt begrenzt:

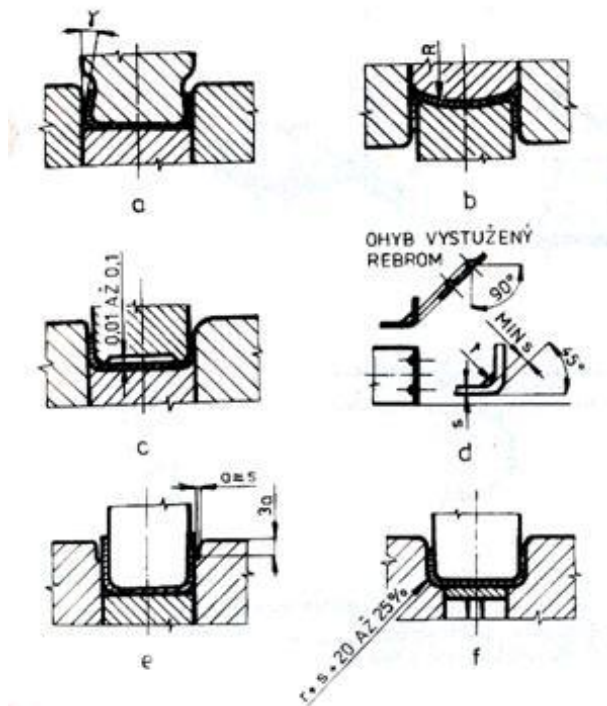
- Das Material wird um den Wert des Dämpfungswinkels γ gebogen, der entweder durch die empirischen Formeln oder aus den Tabellen bestimmt wird. Das Werkzeug muss mit der Winkelkorrektur γ konstruiert werden, sonst hat das Produkt won't die gewünschte Form.
- Es wird eine Kalibrierung verwendet, d.h. die Presskraft am Ende des Presszyklus wird erhöht, lokale plastische Verformungen treten an der Stelle der Biegung auf und der Wert der Dämpfung nimmt ab, bis sie schließlich verschwindet.



Verlauf der Biegekraft einschließlich Kalibrierung

Legende: ohýbaci síla - Biegekraft, pružná deformace - elastische Verformung, plastická deformace - plastische Verformung, volný ohyb - lose Kurve, kalibrování - Kalibrierung

- Vertiefungen auf der Prägung werden verwendet, wenn die Polsterung fast vollständig entfernt ist. Die Biegedämpfung kann wie folgt entfernt werden: Auflockerung (podbroušení) der beweglichen Backe um den Winkel γ , Abrundung der Unterseite der beweglichen Backe und des Halters um den Radius R , Verstärkung des Materials in den Ecken durch Stoß, Pressen der Rippe an der Biegestelle, allmähliches Biegen mit dem Auflockern der festen Backe um die Materialdicke und Verstärkung des Materials durch einen Verformungsradius in den festen Backen.

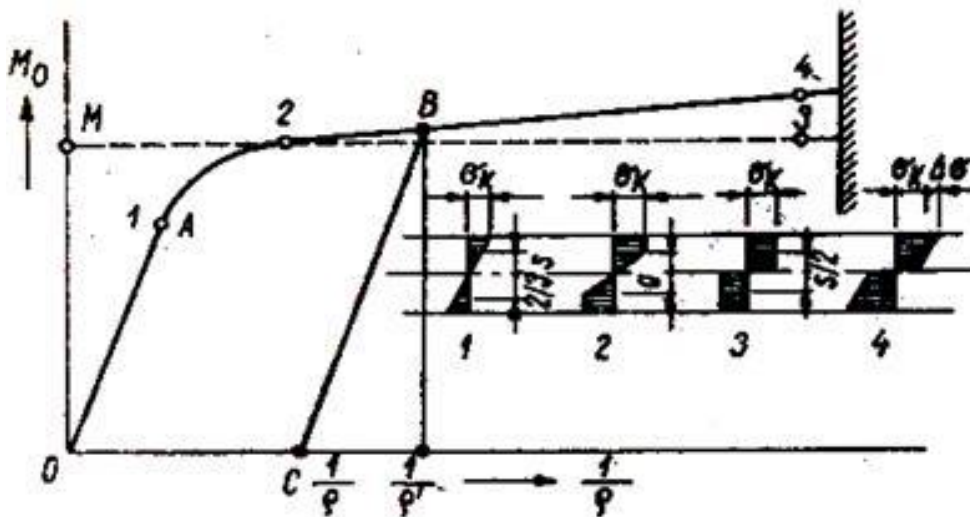


Strukturelle Anpassungen der Biegebacken als Schutz gegen die Materialdämpfung

5.4. Spannungsverteilung

- Beim Biegen ist die Spannung in den Außenfasern der Materialien entgegengesetzt (Zug, Druck).
- Die Abbildung (1) zeigt die Spannungsverteilung im biegebeanspruchten Materialquerschnitt unterhalb der Streckgrenze.
- Steigt die Spannung über die Fließgrenze hinaus, nimmt auch die plastische Verformung zu (in der Mitte). In diesem Fall steigt die Spannung in den Zonen der plastischen Verformung nicht über den Fließgrenzenwert (2) hinaus.
- Steigt das Biegemoment, verschwindet der elastische Kern und die Spannungsgröße bleibt konstant (3).

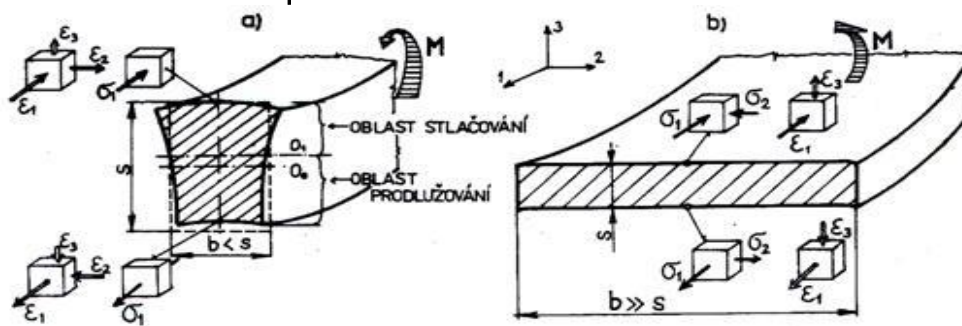
- Wenn wir die Festigkeit des Materials beim Kaltumformen berücksichtigen, sind die Verhältnisse gemäß (4) und der Abbildung rechts.
- Um die neutrale Achse befindet sich eine Zone mit elastischer Verformung, die nach dem Blitzen eine Dämpfung bewirkt.



Spannungsverteilung im Querschnitt beim Biegen von Material

Am Biegepunkt weist das gebogene Material drei Zonen auf (die Spannung im gebogenen Material bei dünnen Blechen ist in der Abbildung dargestellt):

- Zone der elastischen Verformung um die neutrale Achse,
- Äußere Zone der dauerhaften Verlängerung,
- Innere Zone des permanenten Vortriebs



Spannung und Verformung im gebogenen Material

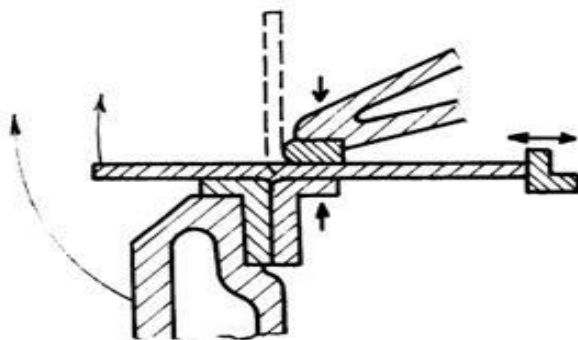
5.5. Biegetechnische Verfahren

- Das Biegen kann frei oder mit einem festen Werkzeug durchgeführt werden.

- Die technologischen Verfahren des Biegens lassen sich wie folgt unterteilen:
 - Durch das verwendete Werkzeug,
 - Um den Krümmungsradius,
 - Mit der technologischen Methode.

Klassifizierung der technologischen Biegeverfahren nach dem verwendeten Werkzeug

- Manuelles Biegen mit manuellen Biegewerkzeugen, Biegungen.
- Nicht alle Biegevorgänge können mit der Presse durchgeführt werden. Für einige Biegeoperationen sind spezielle Biegewerkzeuge, auch manuell betätigt, vorgesehen, z.B. zum Biegen von langen Bändern und Blechen (diese werden mit einer Maschine mit Scharnierplatte gebogen - siehe Schema in der Abbildung).
- Das zu biegende Material wird auf den Maschinentisch gelegt und bis zum Anschlag nivelliert. Dann wird es an der Biegekante eingespannt. Die Kante der Maschine besteht aus austauschbaren, stahlgehärteten Stäben. Nach dem Einspannen wird das Material durch Kippen der Platte um einen beliebigen Winkel gebogen, der mit einem Anschlag voreingestellt ist. Die Maschine wird mit einer Reihe von Zusatzeinrichtungen geliefert.

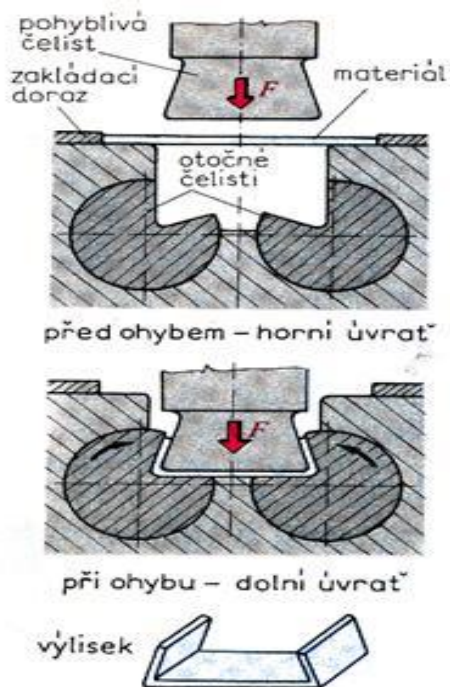


Biegewerkzeug mit einer rotierenden Platte

- Biegen mit Pressen in einem Biegewerkzeug (Biegemaschine), dessen bewegliche Backe geradlinige Hubbewegungen ausführt.
- Diese Art des Biegens wird mit den folgenden Pressentypen durchgeführt:
 - mechanisch
 - hydraulisch,
 - Sondermaschinen - je nach technologischem Prozess selbst

Biegewerkzeuge für den Presseneinsatz sind im Vergleich zu anderen Werkzeugen recht einfach. Die Abbildung zeigt ein Biegewerkzeug zum Biegen mit einem Biege Winkel über 90°. Die zylindrischen Teile des Werkzeugs drehen sich um die Zylinderachsen und die Federn bringen sie in die Ausgangsposition zurück. Das Produkt wird aus dem Werkzeug

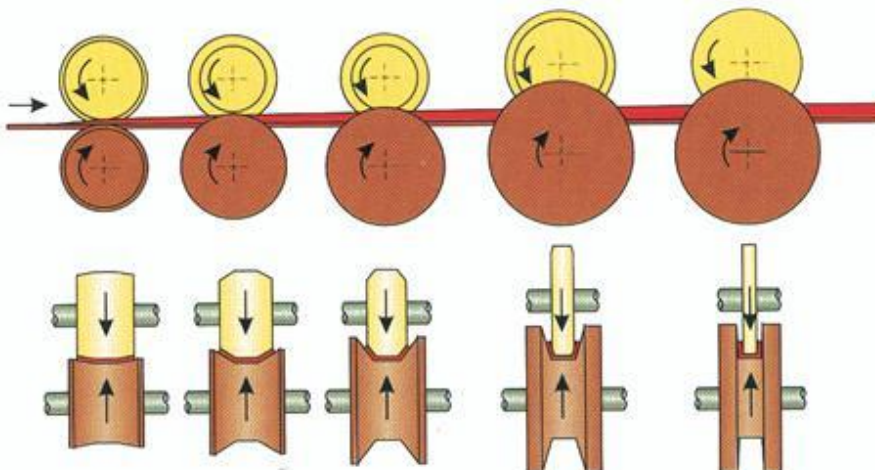
entfernt, indem es senkrecht zur Biegeebene aus der Biegung gleitet.



Biegewerkzeug (Biegewinkel über 90°)

Legende: pohyblivá čelist - bewegliche Backe, Material - Material, otočné čelisti - rotierende Backen, před ohybem - vor dem Biegen, horní úvrat - oberer Totpunkt, při ohybu - beim Biegen, dolní úvrat - unterer Totpunkt, výlisek - Stanzen

Biegen mit Rollen: Das Biegewerkzeug sind die Rollen, die eine Drehbewegung ausführen. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für das Biegen durch Walzen.



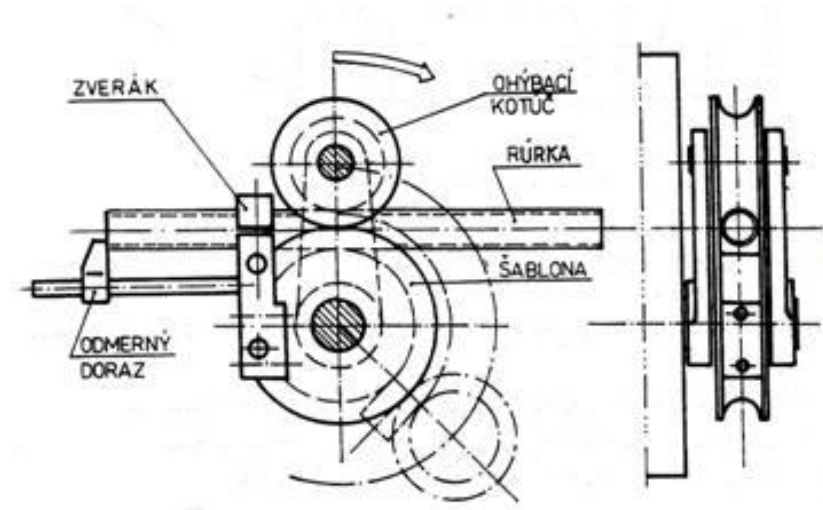
Ende durch Walzen

Klassifizierung der technologischen Verfahren nach Krümmungsradius

- Biegen mit kleinem Radius - große plastische Verformung,
- Biegen mit hohem Radius - geringe plastische Verformung.

Klassifizierung nach Produktionstechnologien

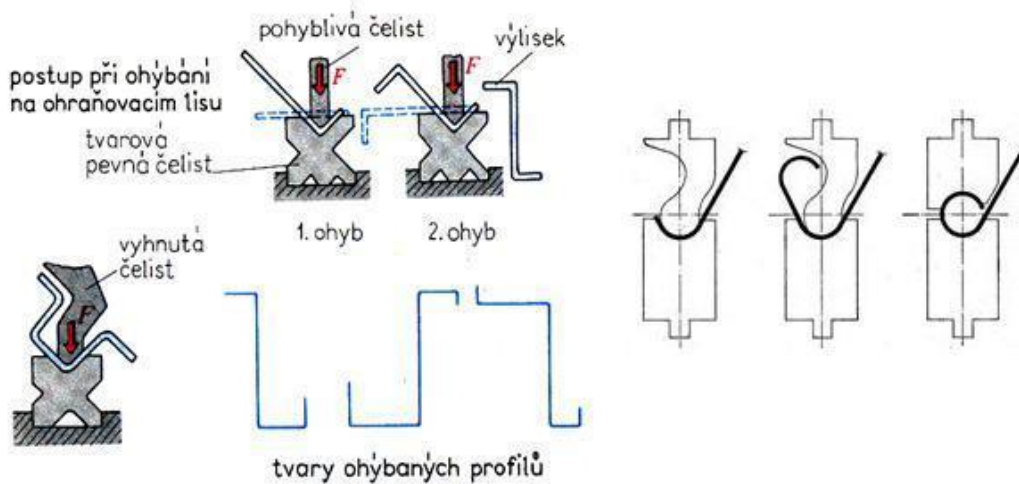
- "klassisches" Biegen - Biegebeispiele wurden in den Abbildungen und Diagrammen dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt das Biegen von Rohren. Das Biegen erfolgt durch Rollen der Scheibe über das in den Schlitz einer anderen Scheibe eingesetzte Rohr. Die Scheiben sind austauschbar, die Schlitz müssen dem Durchmesser der Rohre entsprechen. Verformungen von Rohren werden verhindert, indem das Rohr in den Schlitz eingeführt wird, so dass es sich nicht verbreitern kann.



Biegen von Rohren

Legende: svěrák - Klemme, doraz - Schlag, ohýbací kotouč - Biegescheibe, rúrka (trubka) - Rohr, šablona - Form

Bremsbiegen an Pressen, die zur Herstellung verschiedener dünnwandiger Profile sowie Profile mit einer Dicke von 20 mm und Profile mit kleinem Rundungsradius dienen. Das Prinzip unterscheidet sich nicht vom Biegen auf einer herkömmlichen Presse. Der Unterschied liegt in der Länge der Maschine und der Presse. Die Länge wird durch die Breite der Bremspresse begrenzt.

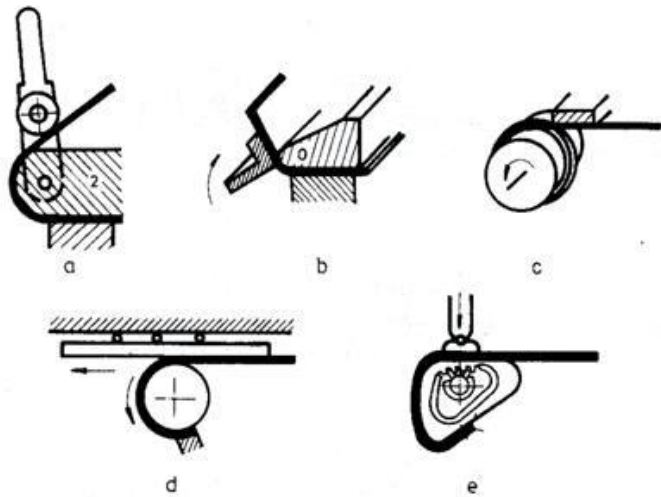


Beispiele für das Biegen von Bremsen

Legende: postup při ohýbání na ohraňovacím lisu - Bremsbiegen an der Bremspresse, tvarová pevná čelist - feste Backe, pohyblivá čelist - bewegliche Backe, výlisek - Stanzen, ohyb - Biegen, vyhnutá čelist - gebogene Backe, tvary ohýbaných profilů - Formen der gebogenen Profile

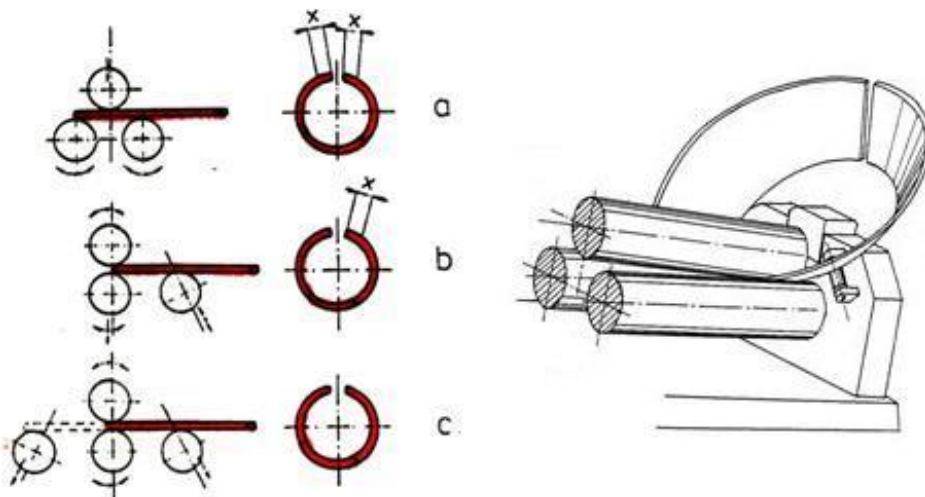
Das Ausgangsmaterial sind die Blechbänder. Jeder Umformvorgang wird pro Pressenhub durchgeführt, und für jede Profilform muss ein separates Werkzeug an der Presse angebracht werden. Das Werkzeug besteht aus verschiedenen Stahlstäben, die sowohl mit der Maschine geliefert als auch speziell konstruiert und gefertigt werden. Der obere Teil des Werkzeugs kann geformt werden. Die Bremspresse ist eine mechanische Presse, die es ermöglicht, lange Stangenwerkzeuge zu verwenden. Bei beiden Maschinen wird die Biegung in der gesamten Länge des Materials durchgeführt - also in der gesamten Länge.

- Das Flashen (lemování) ist ein Vorgang, bei dem wir die Kante einer Stanzung verstärken oder ein Halbzeug für eine zusätzliche Fugenbildung vorbereiten müssen. Es wird auch verwendet, um Nuten in der Mitte oder an der Kante zu machen, um die Steifigkeit des Produkts zu erhöhen.
- Das Wickeln (navíjení) ist ein Prozess, bei dem das geformte Material allmählich auf der Rolle aufgewickelt wird und die gewünschte Form ergibt, die mit der Form des Werkzeugs identisch ist. Meistens wird die Wicklung in Coiblechen verwendet.



a - manuell, b - mit Biegewerkzeug, c - Wickelfedern auf Dorn, d - Wickelstangen, e - Wickeln eines Bandes auf eine Form

Das Walzenbiegen wird zur Herstellung von zylindrischen oder konischen Hüllen für Behälter, Rohre und sogar für 30 mm dicke Bleche eingesetzt. Dickere Bleche werden dann warmgewalzt. Maschinen, die zu diesem Zweck eingesetzt werden, werden als Biegerollen bezeichnet (siehe Abbildung unten). Die Werkzeuge können Drei- oder Mehrrollenwerkzeuge sein, deren Ausführung von der Blechdicke und den Anforderungen an die Rundung der Blechenden abhängt.

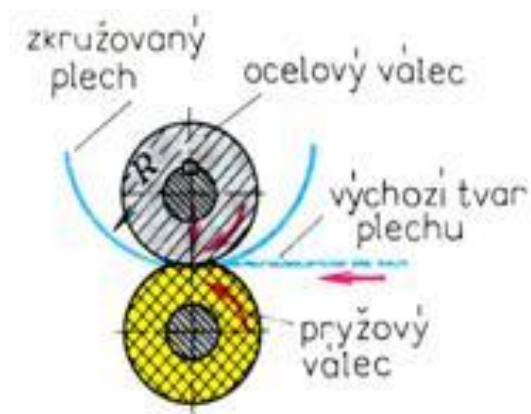


*Anordnung der Biegerollen (links) und Detailansicht einer Kegelbiegung (rechts)
a - dreifach gerolltes symmetrisches Werkzeug, b - dreifach gerolltes unsymmetrisches Werkzeug, c - vierfach gerolltes Werkzeug*

Dünne Bleche werden mit einer Stahl- und Gummiwalze auf den Maschinen gebogen - Biegetechnik mit elastischem Werkzeug. Der Biegeradius ändert sich in Abhängigkeit von der Gummikompression. Die Oberflächenqualität der Produkte ist wesentlich bes-

ser, aber es ist mehr Umformarbeit notwendig, da ein Teil davon für die Verformung des elastischen Teils der Maschine - Gummi - notwendig ist.

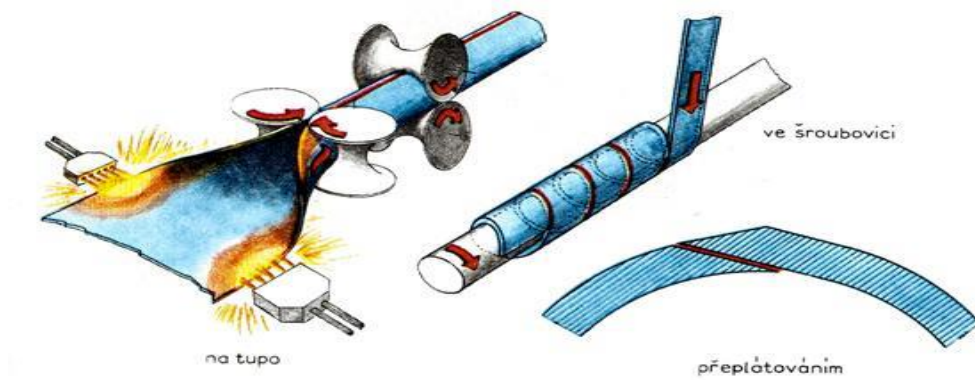
Das Walzen, Profilieren, Wickeln auf Pressen wird durchgeführt, um eine kreisförmige Form an den Blechkanten zu erzeugen. Es besteht aus einem allmählichen kontinuierlichen Biegen von Bändern auf Profiliermaschinen und wird zur Herstellung von Rohren (geschweißt, dünnwandig) und Profilen oder zum Wickeln von Scharnierflügeln unter Verwendung der vertikalen Bewegung des Pressbalkens verwendet. Beim Walzen erfolgt eine allmähliche Formänderung durch Biegen mit unterschiedlich dimensionierten Rollen, so dass eine horizontale Spannung im Blech entsteht und sich das Band mit hoher Geschwindigkeit (ca. 25 m.min⁻¹) von selbst bewegt.



Biegewerkzeug mit Gummirolle

Legende: zkrúžovaný plech gebogenes Blech, ocelový válec - Stahlwalze, výchozí tvar plechu - Ausgangsblechform, pryžový válec - Gummiwalze

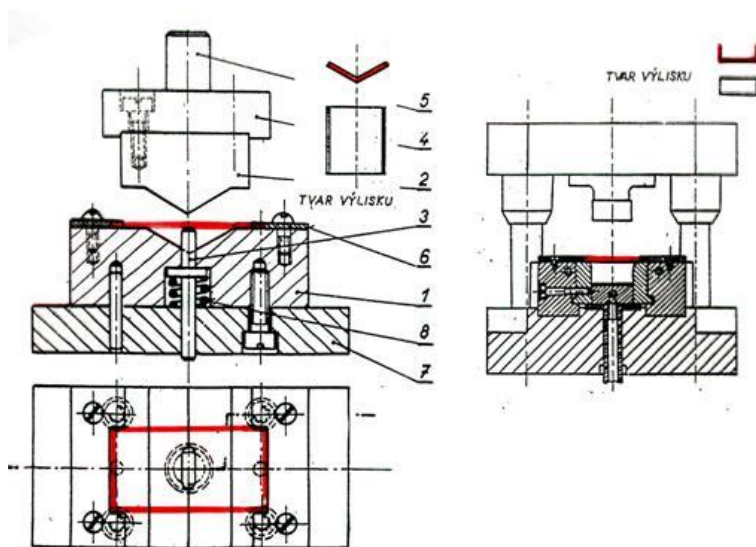
Für die Profilierung können einfache zweiteilige Werkzeuge verwendet werden, die als Paar Profilscheiben ausgeführt sind. Die Abbildung links zeigt ein Werkzeug, das zum seitlichen Biegen eines Blechs geeignet ist, die Abbildung rechts zeigt die Anpassung für die Sicken (žlábkování). Die seitliche Biegung und die Nut können sowohl am Rand eines ebenen Blechs (Bandes) als auch am Rand eines zu einer zylindrischen Form gewalzten Blechs vorgenommen werden. Durch allmähliches Biegen ist es möglich, ein Profil beliebiger Länge herzustellen, auch bei komplexeren Profilen.



Herstellung von dünnwandigen Rohren durch Profilierung, Wicklung, Überlappung und Überlappung
 Legende: na tupo - butt, ve šroubovici - helix, přeplátováním - überlappend

5.6. Biegen von Werkzeugen

Das Biegewerkzeug besteht aus einem Biegestempel und einer Biegematrize oder einem Lastanschlag. Biegewerkzeuge können durch die Methode und Technologie des Biegens unterteilt werden, meist für eine U- oder V-Form. Biegewerkzeuge sind in der Regel nicht getrennt und werden als kombinierte Werkzeuge ausgeführt.

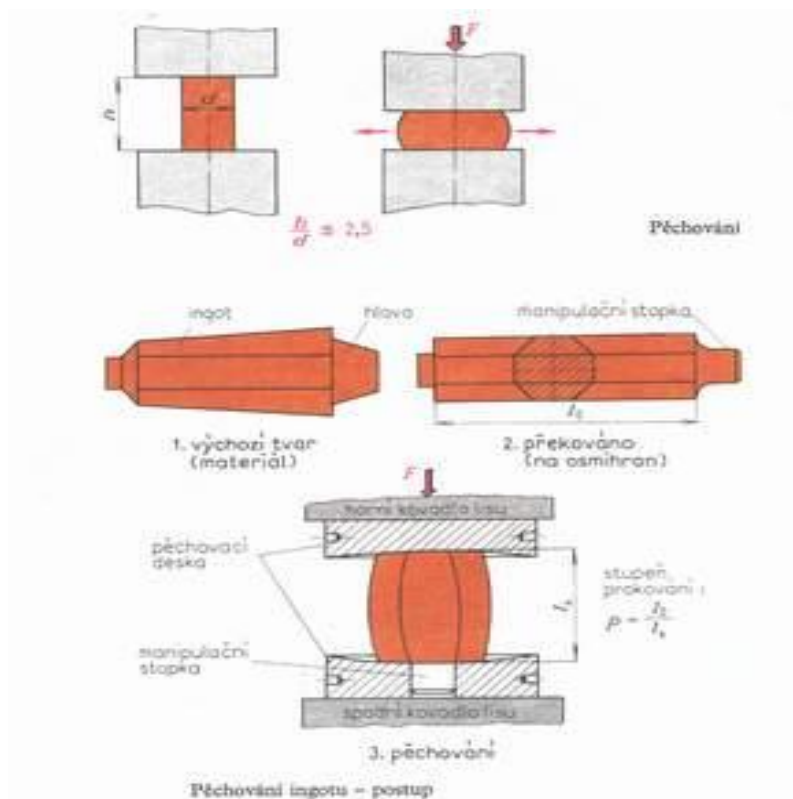


Werkzeuge für ein V (links) und U (rechts) gekrümmt

6. Spezielle Schmiedeverfahren

6.1. Stauchen

- Zu den grundlegenden Verfahren des Freiformschmiedens gehört das Stauchen.
- Stauchen ist der einfachere Schmiedeprozess, bei dem zwischen zwei Flach- oder Umformbacken eine plastische Verformung des Materials auftritt.
- Andererseits ist das Stauchen die kraft- und energieintensivste Schmiedeoperation. Es kann entweder direktes Schmieden beim Schmieden von Flachschiemteilen oder eine Voroperation zum perfekten Schmieden des Materials sein, die die Anisotropie reduziert und die Faseranordnung verbessert.
- Es reduziert die Höhe und erweitert die Querschnittsfläche.
- Beim Schmieden muss das Material gleichmäßig erwärmt werden und parallele Stirnflächen gewährleisten, die Materialdicke reduzieren (Biegegefahr) und die Position senkrecht zur Maschinenachse sicherstellen.



Stauchen von zylindrischen Halbfabrikaten

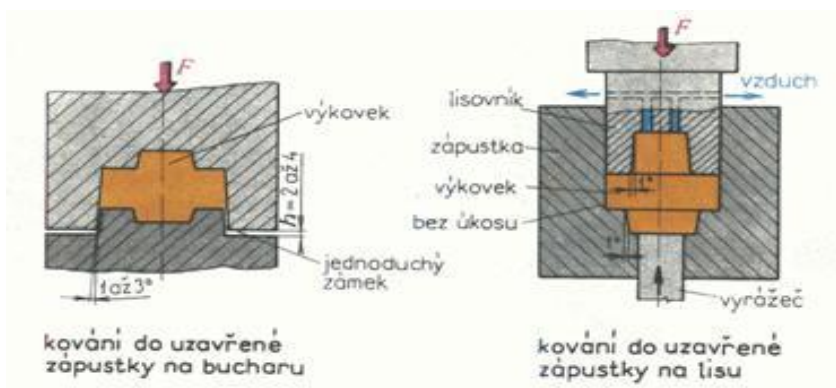
Legende: pěchování - Stauchen, Barren - Barren, manipulační stopka - Handhabungsschiff, výchozí tvar materiálu - Ausgangsform des Materials, překováno na osmihran - zu einem Achteck geschmiedet, pěchovací deska - Stauchplatte, spodní kováčská lisu - Unter-

6.2. Vervollständigung

- Eine weitere Technologie des Freiformschmiedens ist das Auswalken (Ziehen).
- Es handelt sich um den am weitesten verbreiteten Schmiedevorgang, bei dem mehr Stauchvorgänge nebeneinander durchgeführt werden, wodurch der Querschnitt erweitert und gleichzeitig reduziert wird.
- Das Halbzeug wird meist um 90° gedreht und um den Abstand p verschoben, wodurch die Ausdehnung kompensiert wird. Der Hub p ist immer kleiner als die Breite der Matrize s ist.

6.3. Präzisionsschmieden

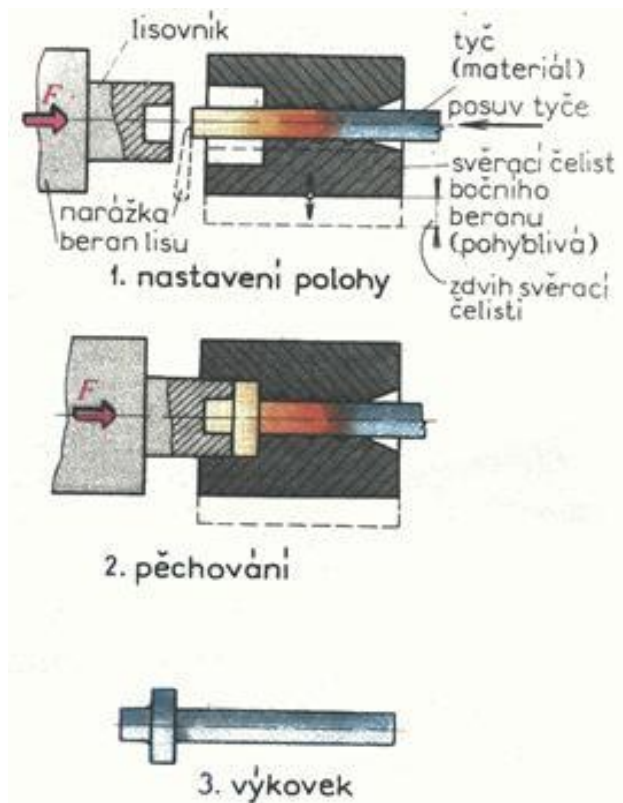
- Schmiedeteile mit minimalen Bearbeitungszugaben und Fasen werden in geschlossenen Matrizen durch sogenanntes Präzisionsschmieden hergestellt.
- Beim Präzisionsschmieden sind das Volumen und die Zentrierung des in die Matrize eingesetzten Materials strikt zu beachten. Rotierende Formen werden am häufigsten bevorzugt.



Legende: výkovek - Schmieden, jednoduchý zámek - einfaches Schloss, kování do uzavřené zápustky na bucharu - Schmieden in geschlossener Matrize auf Hammer, lisovník - Stempel, zápustka - Matrize, bez úkosu - ohne Fase, vyrážec - Auswerfer, vzduch - Luft, kování do uzavřené zápustky na lisu - Schmieden in geschlossener Matrize auf Presse

6.4. Schmieden mit horizontaler Schmiedepresse

- Das Schmieden auf einer horizontalen Schmiedepresse ermöglicht eine teilweise oder vollständige Automatisierung des Prozesses.
- Sie besteht in der Verwendung einer horizontalen Kurbelpresse, die hauptsächlich zum Stauchen von Stangenmaterial und zum Arbeiten mit geschlossenen Matrizen geeignet ist.
- Das Prinzip ist in der Abbildung dargestellt.
- Es verwendet eine geschlossene dreiteilige Matrize, das Schmieden erfolgt ohne Grat. Der Hohlraum der Matrize ist zweiteilig, geteilt durch eine vertikale oder horizontale Ebene, mit einem aufgerauhten Durchgang für Stangenmaterial. Es fungiert als Spannfutter für das Stangenmaterial, wenn sich die beiden Hälften einander nähern. Das dritte Teil (Stauchteil) wird in axialer Richtung in den Hohlraum eingesetzt.
- Prinzip: Die Stange wird in die Schmiedeposition bis zum Anschlag bewegt. Auf diese Weise wird das Volumen des geschmiedeten Materials bestimmt. Dann klemmt der zweiteilige Block die Stange und bewegt den Anschlag. In dieser Phase wird der vorstehende Teil der Stange erwärmt (heute ist es meist induktiv).
- Nach dem Stauchen des erwärmten Endes der Stange trennt das Gleitblatt das Schmieden von der Stange und der Zyklus wird wiederholt.

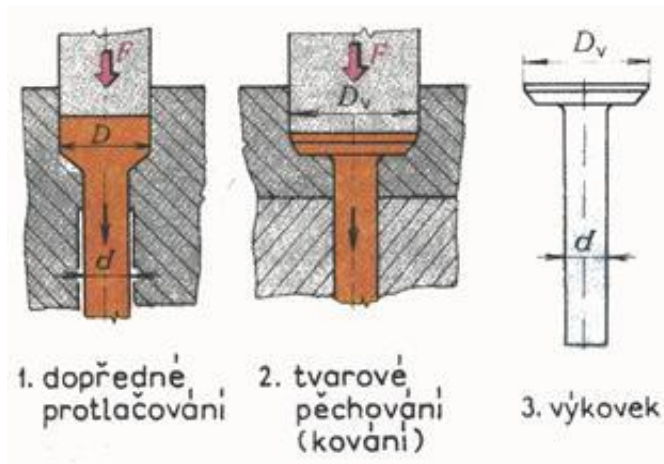


Schmieden mit paralleler Schmiedepresse

Legende: lisovník - Stanzung, narážka - Anschlag, beran lisu - Pressbalken, tyč (Material) - Stange (Material), posuv tyče - Bewegung der Stange, svěrací čelist bočního beranu (pohyblivá) - Klemmbacke des Längsträgers (beweglich), zdvih svěrací čelisti - Hub von, nastavení polohy - Positionierung, pěchování - Stauchen, výkovek - Schmieden

6.5. Strangpressschmieden

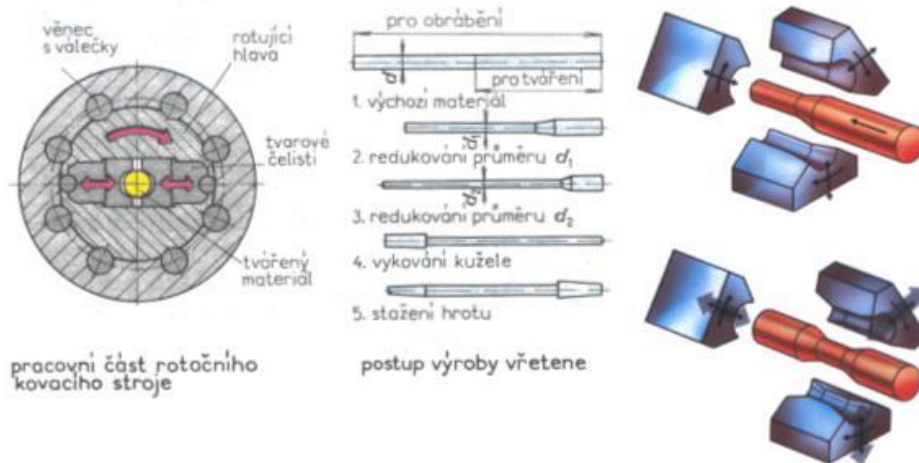
- Ein weiterer technologischer Prozess ist das Schmieden - das Heißextrudieren, wenn das geformte Material durch den Extruder in einer geschlossenen Matrize gepresst wird.
- Es ist eine Kombination aus Strangpressen und Schmieden. Dieses Verfahren wird für Aluminium und Kupferlegierungen sowie für Stahl angewendet.
- Es erhöht die Duktilität von Metall, da das Material einer räumlichen Druckbelastung ausgesetzt ist.
- Sie kann als Vorwärts-, Rückwärts- oder kombinierte Extrusion durchgeführt werden. Es ist notwendig, auch die Reibung und die hohe Festigkeit und Hitzebeständigkeit der Werkzeuge zu berücksichtigen....



Legende: dopředné protlačování protlačování - Vorwärtsextrusion, tvarové pěchování - Formbeständigkeit, výkovek - Schmieden

6.6. Rotierendes Schmieden

- Ein besonderes Schmiedeverfahren ist das sogenannte Rotationsschmieden.
- Es wird zur Reduzierung des Querschnitts auf einen kleineren Durchmesser oder zum Schmieden einer zylindrischen Form aus einem Quadratprofil verwendet. Im Gegensatz zu anderen Umformverfahren ist das rotierende Schmieden kalt, nur zur Herstellung von Bauteilen mit größerem Durchmesser wird das Warmschmieden eingesetzt.
- Es gehört zu den Schmiedeverfahren, da die Verformung durch wiederholte Stöße erfolgt.
- Prinzip: Zwei radial bewegliche Werkzeuge werden gedreht. Sie werden durch die Zentrifugalkraft zum Rand hin verschoben. Hier treffen sie auf gehärtete Zylinder, die ihnen einen Rücklaufimpuls geben. Dadurch entsteht eine Wiederholung.
- Das Halbzeug wird langsam und axial in den Umformprozess eingebracht.
- Beispiele für rotierendes Schmieden und Verfahren zum Drehen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

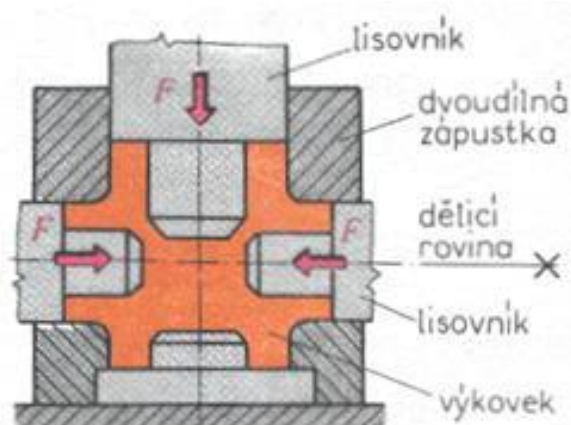


Rotierendes Schmiedeprinzip

Legende: věnec s válečky - Felge mit Rollen, rotující hlava - rotierender Kopf, tvarové čelisti - Formbacken, tvářený Material - Formmaterial, pracovní část rotačního stroje - Arbeitsteil der Drehmaschine, pro obrábění - für die Bearbeitung, pro tváření - für die Umformung, výchozí Material - Ausgangsmaterial, redukování průměru - Durchmesserreduzierung, vykování kužele - Schmieden eines Kegels, stažení hrotu - Spitzenreduzierung, Nachbearbeitung výroby vřetene - Spindelherstellung

6.7. Multidirektionales Schmieden

- Das letzte spezielle Schmiedeverfahren ist das multidirektionale Schmieden.
- Das Material in der geschlossenen Matrize wird dem Druck des Stempels aus mehreren Richtungen ausgesetzt.
- Das Schmieden ist präzise und mit minimalen Bearbeitungszugaben.



Legende: lisovník - Stempel, dvoudílná zápustka - zweiteilige Matrize, dělicí rovina - Trennhobel, výkovek - Schmieden

MASCHINENELEMENTE UND MECHANIK

1. Einführung in die Verbindungstechnik im Maschinenbau

1.1. Verbindungen

Verbindungen sind Maschinenteile (Komponenten) mit der Hauptfunktion die Komponenten eines technischen Produkts (TS) und das immer in Kombination mit einer weiteren Funktion: **der Beweglichkeit**.

- **"keine gegenseitige Bewegung zulassen"**, wenn die Originalteile aufgrund von Herstellbarkeit, Austauschbarkeit, Anpassungsfähigkeit, Transportfähigkeit, Reparaturfähigkeit, Verfügbarkeit usw. nicht aus einem Stück konstruiert werden konnten.
- **"gegenseitige Bewegung zulassen"**, wenn die zu verbindenden Teile ihre gegenseitige Position ändern müssen, um ihre Funktion zu gewährleisten.

Hinweis:

Wenn jedoch die Funktion "zur Ermöglichung der gegenseitigen Bewegung" Priorität hat, gelten diese Gelenke in der Tschechischen Republik als unabhängige Klassen von Maschinenteilen, und in der tschechischen Sprache werden sie entsprechend der erlaubten Bewegung angesprochen (im Gegensatz zu Englisch und Deutsch):

- Gleitbewegung: Linie
- für Drehbewegungen: Passform

In den folgenden Kapiteln beziehen sich "Gelenke" daher nur auf "gemeinsame Gelenke", bei denen die Priorität auf der Funktion "Verbindung zulassen" liegt und die Funktion "Bewegung zulassen" teilweise oder gar nicht benötigt wird:

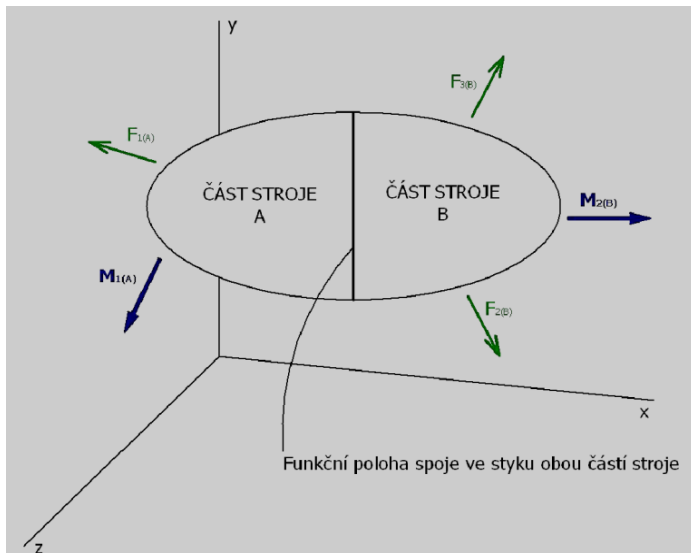
- **starre Gelenke** (im Betrieb nicht beweglich) (d.h. Funktion "keine gegenseitige Bewegung zulassen")
- **bewegliche Gelenke** (d.h. Funktion "um eine teilweise gegenseitige Bewegung zu ermöglichen")

Hinweis:

- Die übliche Aufteilung der "starrten Verbindungen" in "lösbar" und "anbringbar" wird nicht berücksichtigt, da es sich nicht um eine funktionale Eigenschaft oder Eigenschaften handelt. Diese Eigenschaft (z.B. für die Montage in der Produktion und für die Demontage und Montage in Vertrieb, Installation, Wartung, Reparatur und Demontage bei der Entsorgung usw.) wird logischerweise als eine der wesentlichen Eigenschaften von (Festkörper-)Verbindungen angesehen. Die Klassifizierung wurde somit vereinfacht, ohne diese Eigenschaft zu vernachlässigen.
- Hinweis: In Bezug auf Maschinenteile beziehen sich "starre Verbindungen" auf Verbindungen, die (im Betrieb) keine gegenseitige Bewegung der Teile zulassen, oder TS-Komponenten, die gekoppelt oder miteinander verbunden werden.
- Zur vereinfachten Darstellung und Bezeichnung von gleichmäßig über den gesamten Umfang ausgeübten Kräfteinwirkungen (z.B. Klemmung, Reibfläche, Gewinde, etc.) sind die relevanten Größen mit dem links neben der jeweiligen Kraftmarke stehenden Index "o" gekennzeichnet, etc. (z.B. Figur A 1.4-2)

1.2. Äußere Belastung der Verbindung

Sie wird (nach Berechnung des äußeren Gleichgewichts TS!) als resultierende Wirkung von Kräften und Momenten, die auf einen Teil von TS einwirken, auf einer Seite einer Kontaktfläche des betreffenden Gelenks berechnet (d.h. Analogie als inneres Gleichgewicht entsprechend "Schnitt"). In der Regel wird die Seite gewählt, von der aus die Lösung einfacher ist.



Legende:

část stroje A - Teil der Maschine A, část stroje B - Teil der Maschine B, funkční poloha spoje ve styku obou částí stroje - funktionelle Position des Gelenks an der Kontaktstelle beider Teile der Maschine

Resultierende Kraftwirkungen auf das Gelenk (von der "linken" und "rechten" Seite):

$$\begin{aligned}
 F_{xSP} &= \sum_{(i)} F_{ixA} & F_{xSP} &= - \sum_{(j)} F_{jxB} \\
 F_{ySP} &= \sum_{(i)} F_{iyA} & F_{ySP} &= - \sum_{(j)} F_{jyB} \\
 F_{zSP} &= \sum_{(i)} F_{izA} & F_{zSP} &= - \sum_{(j)} F_{jzB}
 \end{aligned}$$

Resultierende Momenteneffekte (aus den Momenten und Kräften) auf die Verbindung (von der "linken" und "rechten" Seite):

$$\begin{aligned}
 M_{xSP} &= \sum_{(i)} M_{ixA} & M_{xSP} &= - \sum_{(j)} M_{jxB} \\
 M_{ySP} &= \sum_{(i)} M_{iyA} & M_{ySP} &= - \sum_{(j)} M_{jyB} \\
 M_{zSP} &= \sum_{(i)} M_{izA} & M_{zSP} &= - \sum_{(j)} M_{jzB}
 \end{aligned}$$

2. Schraub und Gewindeverbindungen

2.1. Merkmale (charakteristische Konstruktionsseigenschaften)

Zerlegbare Verbindungen von Komponenten nach dem Prinzip des Außen- und Innengewindetriebs.

Bei der Montage des Außengewindes unterscheiden wir zwischen:

- **Schraubverbindungen** (Außengewinde entsteht am Hilfsverbindung - Schraube)
- **Gewindeverbindungen** (Außengewinde wird auf einem der Verbindungsteile erzeugt, Innengewinde auf dem zweiten)

Von nun an arbeiten wir nur noch mit handelsüblichen Schraubverbindungen (fest, d.h. unbeweglich), die während der Montage "angezogen" (d.h. vorgespannt) werden.

Notizen:

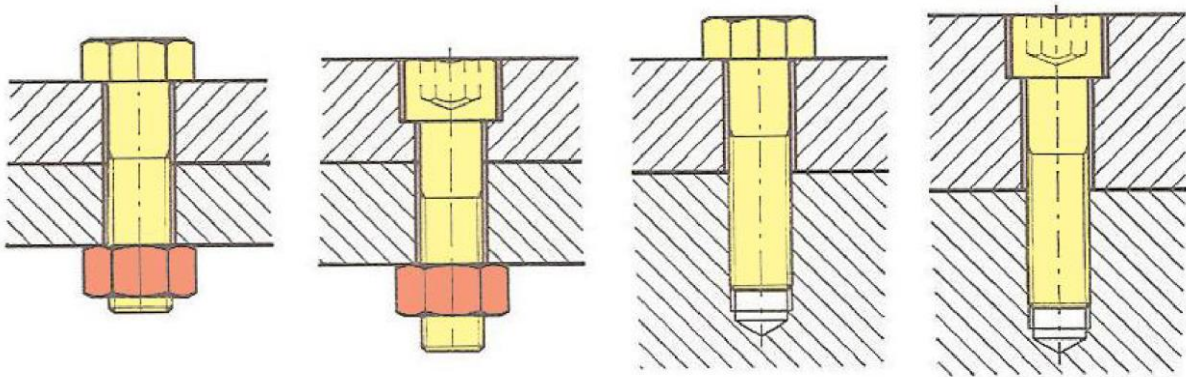
- Es ist zu beachten, dass in der Literatur nur wichtige (meist hochbeanspruchte) Verbindungen als vorgespannte Verbindungen bezeichnet werden. Bei der Auslegung und Bestimmung der Verbindungseigenschaften wird die Hauptstruktur als ein Satz vorgespannter Federn modelliert. Bei weniger wichtigen vorgespannten ("angezogenen") Schraubverbindungen wird der Einfluss der Vorspannung auf die Erhöhung der äußeren Spannung durch den Koeffizienten in Abhängigkeit vom Schraubendurchmesser einfacher berechnet.
- Das Basis-Verschraubungsmodul ist eine einzelne Verschraubung. Mehrfachverschraubungen werden oft als Flanschverbindungen bezeichnet (entsprechend ihrer häufigsten Ausführung). Wichtig sind jedoch nur die Form (und Steifigkeit) der Kontaktfläche und der angrenzenden Teile der verbundenen Bauteile sowie die Montage und Größe der Verbindungsschrauben.

2.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

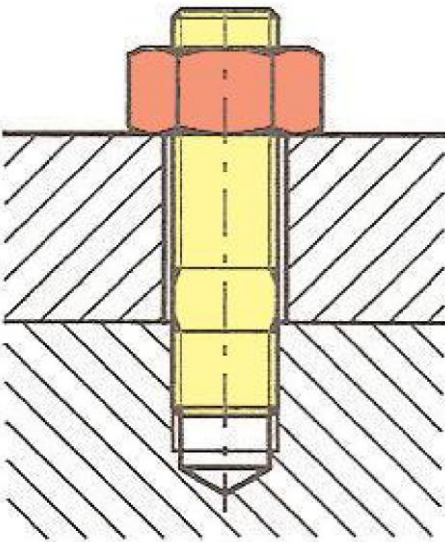
Typische Designs

STANDARD-VERSCHRAUBUNGEN

Verbindung mittels einer Schraube mit einem Kopf (mit Matrize und ohne Mutter):

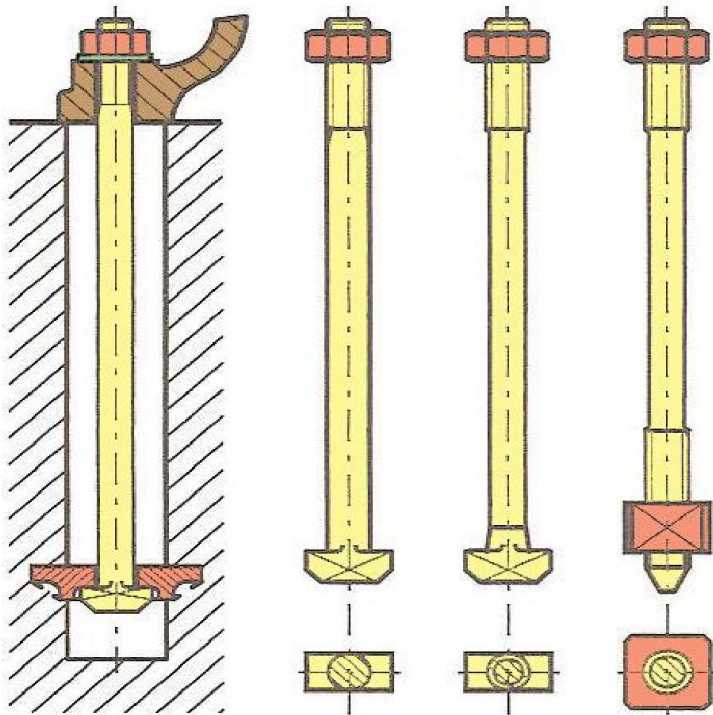


Verbindung mittels Bolzen (mit Mutter):

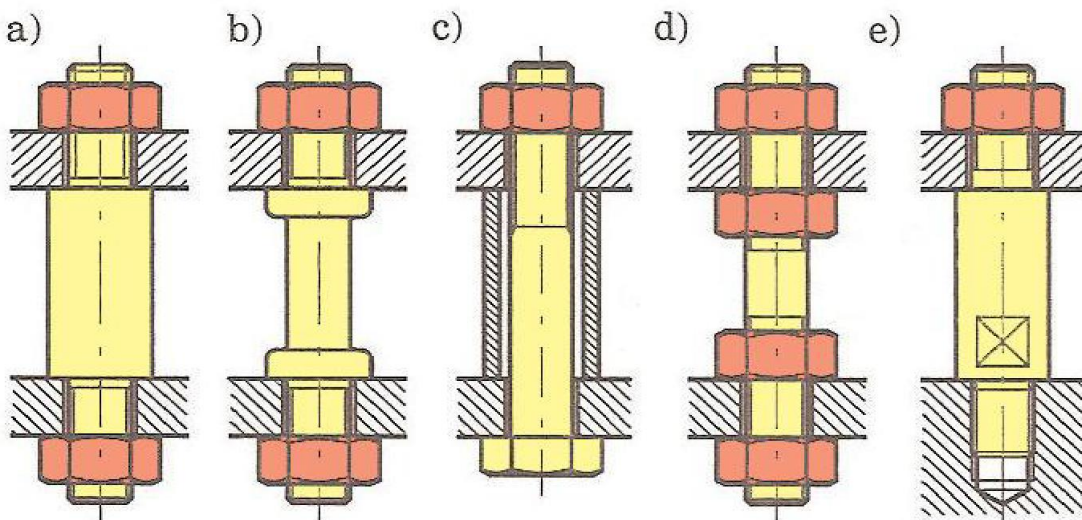


SONDERVERSCHRUBUNGEN

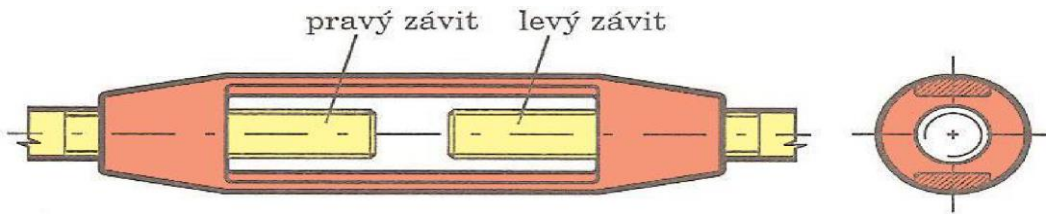
Basisverschraubungen



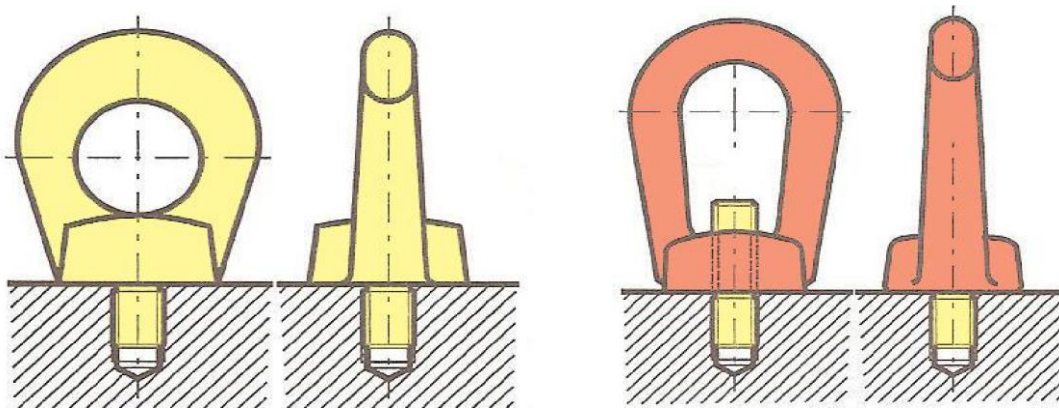
Abstand Verschraubungen:



Verschraubungen spannen:



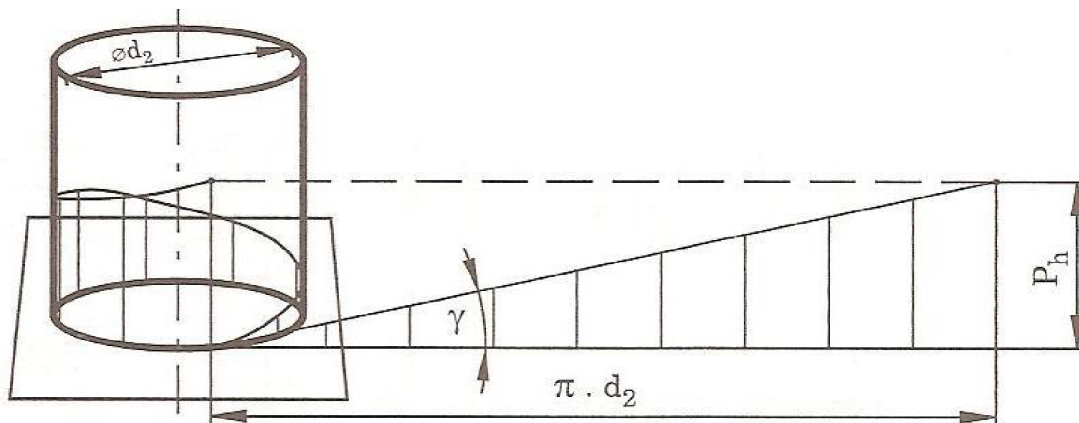
Aufhängungsschraubverbindungen (zum "Verbinden" des Maschinenteils mit einer Aufhängeöse):



Formen, Abmessungen und Toleranzen von Verschraubungsteilen

GEWINDESCHNEIDEN

Prinzip des Gewindeschneidens (auf einer zylindrischen Oberfläche):



$$\operatorname{tg} \gamma = P_h \pi \cdot d_2 \text{ [rad]}$$

Wobei:

Ph [mm] ... Drallgrad (Hinweis: $Ph = n \cdot P$; wobei: n [1] Anzahl der Gewindegänge)

P [mm] ... Teilung

d_2 [mm] ... mittlerer Gewindedurchmesser 186

2.3. Gewindearten der angeschlossenen Schrauben

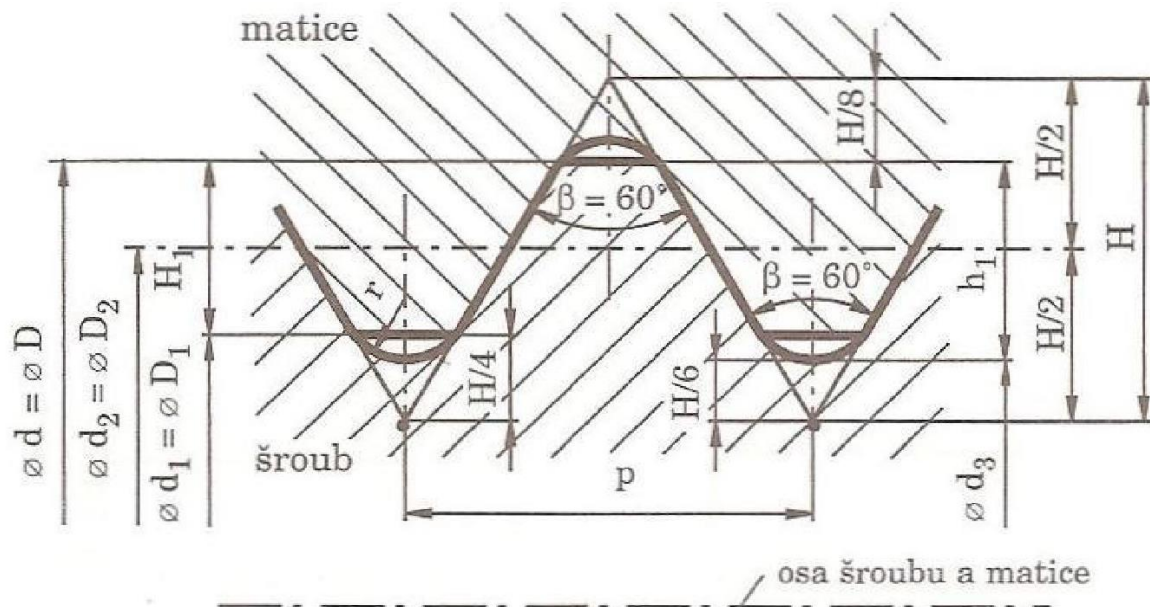
Podle ČSN 01 4000:

- metrisches Gewinde mit einer Grobteilung (ČSN 01 4008): Md , z.B. M16
- metrisches Gewinde mit feiner Steigung (ČSN 01 4013): $Md \times P$, z.B. M16 x 1,5

Notizen:

- für ein Linksgewinde: $Md \times P$ LH, z.B. M16 x 1,5 LH
- für ein mehrgängiges Gewinde: $Md \times Ph/n$, z.B. M16 x 3/2

Axialschnitt (in der Ebene, die durch die Achse von Schraube und Mutter verläuft):



Legende:

matice - Mutter, *šroub* - Schraube, *osa šroubu a matice* - Achse der Schraube und Mutter

d, D - großer \varnothing des Schrauben- und Muttergewindes

$d_2 = D_2$ – mittlerer \varnothing der Schraube und des Muttergewindes
 d_3, D_1 – kleiner \varnothing des Schrauben- und Muttergewindes
 h_1 – Höhe des Schrauben- und Muttergewindeprofils
 H – Höhe des Grundprofils (theoretisches Profil)
 H_1 – Arbeitshöhe des Profils (Tiefe)
 b – Scheitelwinkel
 P – Gewindesteigung

Metrische Gewindeanschlüsse

Für alle Lager (ČSN 01 4314 - nach ISO)

Genauigkeitsgrad: 1 - 10

Position des Toleranzfeldes:

$d p$ (pro d_2 a d), z.B.: M16 7g6g

CH (pro D_2 a D_1), z.B.: M16 5H6H

Beispiele für Lager: 5H6H / 7g6g

Wenn es eine Übereinstimmung gibt, z.B. 6H6H / 6g6g, dann: 6H/6g (gewöhnlich) 187

2.4. Material der Schrauben und Muttern

Grundregeln:

- Werkstoffe mit hoher Streckgrenze, insbesondere bei Schrauben;
- bei gleichen Werten der mechanischen Eigenschaften hängt der Materialeinsatz von der Art der Gewindeherstellung (Warm- oder Kaltumformung, Bearbeitung) ab; daher wird anstelle der Art des Materials nur die Bezeichnung der garantierten mechanischen Eigenschaften für die Herstellung angegeben:

Symbole für die mechanischen Eigenschaften von Schrauben und Muttern**: x.y

xSymbol der Bruchfestigkeit: Zahlen 4 - 12

ySymbol der Bruchgrenze: Zahlen 4 - 8

Notizen:

- Standardisierte mechanische Eigenschaften von Schrauben und Muttern sind mit der ersten zusätzlichen Ziffer in der Bezeichnung nach ČSN gekennzeichnet.
- Für die häufigsten Fälle:

Formen: Schrauben und Muttern ("Innensechskant") mit zylindrischem Sechskantkopf und Innensechskant

* erste zusätzliche Ziffer: .1,5

** Symbol des Materials: 5.6 8.8

$\sigma_{pt} \equiv 100 \times \text{ozn. vel. } \sigma_{pt}$	500 MPa	800 MPa
$\sigma_{kt} \equiv (0,6 + 0,8) \cdot \sigma_{pt}$	300 MPa (x 0.6)	600 MPa (x 0.8)
$\sigma_D \equiv \sigma_{kt} / ([1,5 +] 2,5)$	120 [+ 200] MPa	240 [+ 400] MPa
$\sigma_{D\check{s}} \equiv 0,5 \cdot \sigma_D$	60 [+ 100] MPa	120 [+ 200] MPa – vliv vrubů závitu
$\tau_{D\check{s}} \equiv 0,6 \cdot \sigma_{D\check{s}}$	40 [+ 60] MPa	80 [+ 120] MPa
vliv nerovnoměrného zatížení závitu:		
$p_{Dz} \equiv 0,2 \cdot p_D \equiv 0,2 \cdot \sigma_D$	20 [+ 40] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)
vliv pohybu:		
$p_{Dz \text{ poh zat}} \equiv 0,2 \cdot p_{Dz}$	5 [+ 10] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)

Materialien:

- weniger beanspruchte Verbindungen: Stahlklasse 11 100 (11 109 und 11 100)
- häufig beanspruchte Verbindungen: Stahlklasse 11 300 (11 340 und 11 370)
 - 11 500 (11 500)
 - 11 600 (11 600)
 - 12 000 (12 040 und 12 050)
- hochbeanspruchte Verbindungen: Stahlklasse 13 200 (13 240)
 - 14 200 (14 240)
 - 15 200 (15 230)
- in aggressiver Umgebung: Messing gezogen Klasse 42 3200 (42 3213 und 42 3223)

2.5. Eigenschaften

CHARAKTERISTISCHE EIGENSCHAFTEN KOMPLEXER QUALITÄT

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung aller Lastarten (Übertragung von Tangentialkräften entweder durch Reibung oder Passschrauben).
- Einfache Demontage.
- Der Schutz vor Lockerung kann durch bauliche Veränderungen erhöht werden.
- Die Zuverlässigkeit unter dynamischer Belastung wird durch die Anzahl der Kerben reduziert.

Produktion, Montage

- Einfaches Design, strukturelle Änderungen der zu verbindenden Teile sind einfach, die Verbindungsteile werden meist als Normteile bezogen.
- Am wenigsten geeignet sind Gewinde in verbundenen Teilen, insbesondere wenn die Bohrungsachsen nicht senkrecht zu den Oberflächen stehen und die Bohrungen nicht durchgehend sind (Bruchgefahr von Werkzeugen).

CHARAKTERISTIKA VON ZEITLICHEN EIGENSCHAFTEN

Prozessgeschwindigkeit

- Relativ schnelle Konstruktion, Produktion (und Einkauf), Montage und Demontage.

MERKMALE DER WIRTSCHAFTLICHEN KOSTEN / ANSCHAFFUNGSKOSTEN

Prozessökonomie

- Bei entsprechender Fertigungsgestaltung ist es eine relativ kostengünstige Verbindung.
- Keine Betriebskosten.
- Minimale Demontagekosten (wenn die Verbindung nicht korrodiert ist).

3. Belastung und Festigkeit im Betrieb

Betriebslast (max. Belastung der Verschraubung) (Nennwert)

Typische Beispiele:

I. nŠS von Verschraubungen wird mit der Kraft F_{celk1} auf die Achse belaste:

(wenn die Querkraft nicht durch eingesetzte Elemente mittels z.B. Bolzen, Federn usw. oder Passschrauben erfasst wird).

$$F_{\check{S}jm} \Leftarrow F_{celk \perp} = n_{\check{S}} \cdot F_{\check{S}jm} \cdot f \cdot 1_{sf} \text{ indicativ: } s_f (1,5 \ 2,5) (5.1 - 2)$$

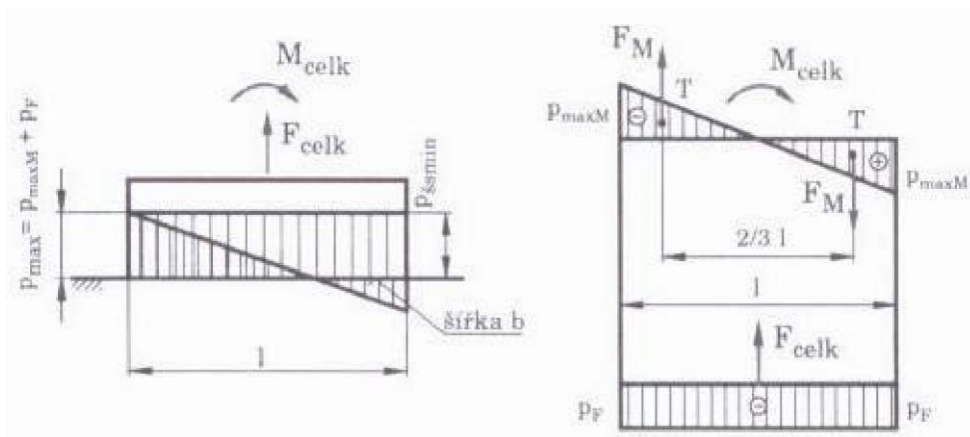
Hinweis:

Da davon ausgegangen wird, dass eine andere Lösung statistisch unbestimmt sein kann, wird die maximale (Grenz-)Last nicht bestimmt, sondern nur die maximale Betriebslast (Nennaußenlast) der Verschraubung $F_{\check{S}jm}$.

II. nŠS von Schraubverbindungen werden parallel zur Achse belastet:

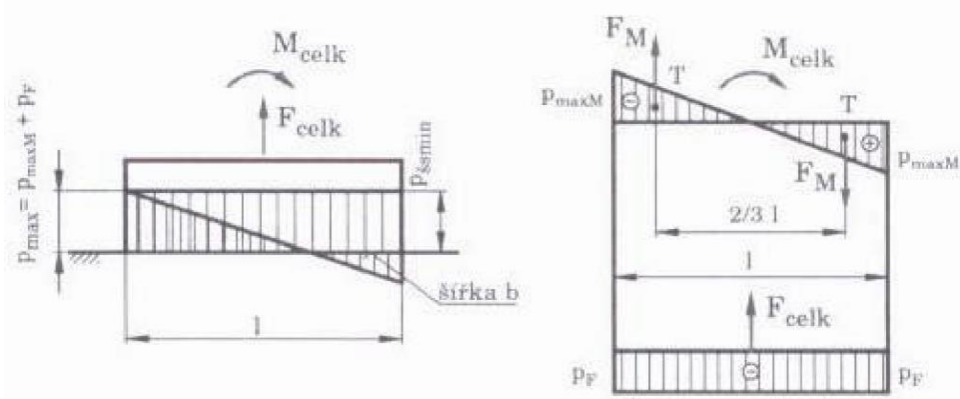
3.1. Gleichmäßige Belastung durch Kraft F_{celk}

$$F_{\check{S}jm} \Leftarrow F_{celk} = n_{\check{S}} \cdot F_{\check{S}jm}$$



3.2. Flächenlast aus F_{celk} und M_{celk}

- einfach:



$$M_{celk} = F_M \cdot 2/3 l \Rightarrow F_M = M_{celk} / (2/3 l) \quad (5.1 - 3)$$

$$F_M = 12 \cdot 1/2 \cdot p_{maxM} \cdot b \Rightarrow p_{maxM} = M_{celk} / (16 \cdot 1/2 \cdot b) = M_{celk} / W_o \quad (5.1 - 4)$$

$$p_F = F_{celk} / b; \quad p_{max} = p_F + p_{maxM} \quad (5.1 - 5)$$

$$F_{\xi sjm} \leftarrow p_{max}(F_{celk}, M_{celk}) = p_{\xi sjm} = n_{\xi s} \cdot F_{\xi sjm \cdot b} \quad (5.1 - 6)$$

3.3. Raumbelastung durch F_{celk} und M_{celk}

es wird analog wie in der Ebene behandelt, aber es ist auch notwendig, auch die dritte Dimension zu berücksichtigen.

Bestimmung der maximalen Belastung der Schraube und Vorspannung der Verbindung
(für die maximale Belastung der Schraubverbindung)

Weniger wichtige Verschraubungen:

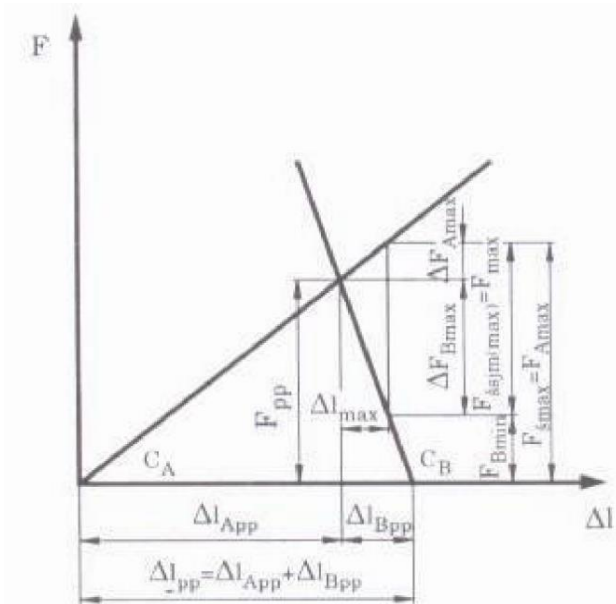
= maximale Schraubenbelastung: Die Größe F_{ξ} wird als gleich der maximalen Betriebslast der Verschraubung $F_{\xi s(max)}$ angenommen, erhöht um den Sicherheitsfaktor s :

$$F_{\xi max} = F_{\xi s(max)} \cdot s \quad (5.1 - 7)$$

wobei: $s (1,5 \div 2,5)$

während die niedrigeren Werte für größere δ gewählt werden, werden für kleinere δ höhere Werte gewählt (bei kleineren Schraubendurchmessern ist die Gefahr des "Brechens" beim Vorspannen höher). Die Vorspannung der FPP-Verbindung wird nicht bestimmt. Es wird davon ausgegangen, dass beim Vorspannen ("Anziehen") die Vorspannung proportional zur Größe der Schraube und damit ausreichend ist.

Wichtige Verschraubungen (als vorgespannte Verbindung - PP)



wobei:

k_A ... Steifigkeit des beanspruchten Arms der Verschraubung

k_B ... Steifigkeit des Leichtbauarms der Schraubverbindung

Die Sicherheit der Verbindung gegen Überlastung wird durch den Entlastungskoeffizienten ausgedrückt. (unsachgemäß als "Dichtheit" bezeichnet) $c\psi$:

$$F_{Bmin} = c\psi \cdot F_{max} > 0$$

$$c (0,5 \div 1,5)$$

größere Schrauben- δ , kleinere Schrauben- δ .

⇒ Maximale Schraubenbelastung:

$$F_{smax} = F_{Amax} = F_{Bmin} + F_{max} = (1 + c\psi) \cdot F_{max}$$

$$C_{pp} = 1,5 \div 2,5$$

⇒ Fugenvorspannung (für den angegebenen Entlastungskoeffizienten der Verbindung $c\psi$):

$$F_{PP} = F_{Bmin} + \Delta F_{Bmax} = c\psi \cdot F_{max} + k_B k_A + k_B \cdot F_{max} = (c\psi + k_B k_A + k_B) \cdot F_{max}$$

3.4. Festigkeit bei maximaler Belastung

Spannung im Schraubenkern

$$\sigma_t = F_{\text{Smax}} / S_{\text{Smin}} \quad (5.1 - 8)$$

wobei: normalerweise ist S_{Smin} ein minimaler Gewindekernquerschnitt

$$S_{\text{Smin}} = \pi \cdot d_{\text{Smin}}^2 / 4 \quad (5.1 - 9)$$

Die Tabelle sagt (aufgrund des Schnittes durch den Gewindebereich):

$$S_{\text{Sj}} \text{ pro } d_{\text{Sj}} = d_2 + d_3 > d_3$$

Spezifischer Druck in Gewinden

Bei Verwendung der genormten Mutterhöhen und Einhaltung der empfohlenen Gewindelängen (Artikel 5.1.1.1) ist es nicht notwendig, den Druck in den Gewinden zu beurteilen.

$$p_z(\text{stř}) = F_{\text{Smax}} / (z \cdot S_1) = F_{\text{Smax}} / (z \cdot \pi \cdot (d_2 - D_1)^2 / 4) \cong F_{\text{Smax}} / (z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1) \leq p_{DZ}$$

Einfach (Artikel 5.1.2)

4. Dübel, Niet und Stiftverbindungen Statik, Design und Kontrolle

4.1. Bolzenverbindungen

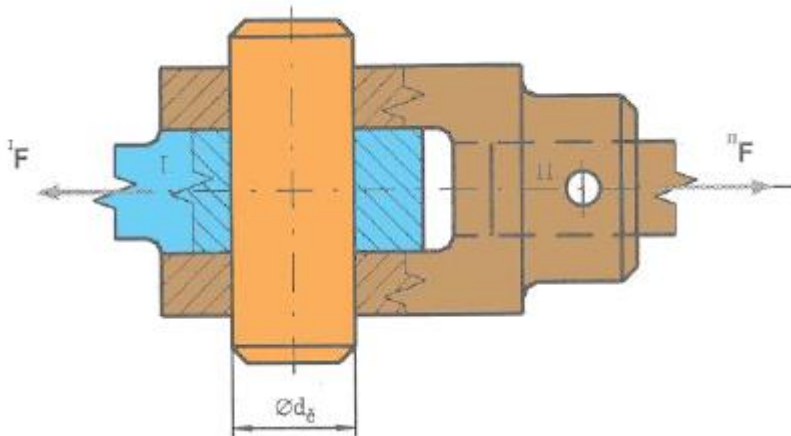
4.1.1. Merkmale

Leicht lösbare Verbindungen mittels Zylinderstift mit beweglichem Lager in den Bohrungen der verbundenen Teile, so dass die verbundenen TS-Teile um die Stiftachse geschwenkt werden.

4.1.2. Struktur

(grundlegende Konstruktionsmerkmale)

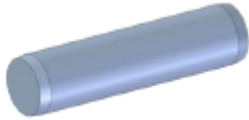
TYPISCHES BEISPIEL



FORMEN

Standardisierte Pins

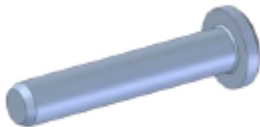
- ohne Kopf
 - ohne Löcher (ČSN EN 22340)



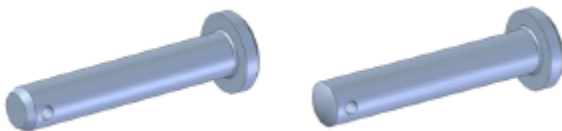
- mit Löchern für Splinte (ČSN EN 22340)



- mit einem Kopf
 - mit einem Kopf (ČSN EN 22341)

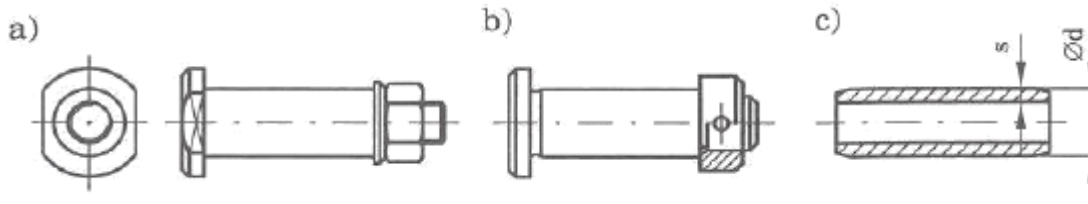


- mit einem Loch für einen Splint (ČSN EN 22341)



Nicht standardisierte Pins

Beispiele:



ABMESSUNGEN, TOLERANZ UND MONTAGE

Abmessungen

- Standardisierte Stifte nach den einschlägigen ČSN: \varnothing d: 1 - 200 mm
- l : in zugeordneten Zeilen

Toleranz und Montage

- Typischerweise H11/h11 (oder H10/h8 oder H8/f8)

Material

- Standardisierte Stifte: Stahl Klasse 11 100 (11 103, 11 110)
- 11 300 (11 341, 11 373)
- 11 400 (11 423)

- Nicht genormte Stifte: Stahlklasse 11 500
- 11 600 91

4.1.3. Eigenschaften

EIGENSCHAFTEN DER NUTZMERKMALE

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung von Kräften senkrecht zur Bolzenachse mit der Möglichkeit, die verbundenen Teile (z.B. Gelenke) zu drehen.
- Spiel in der Verbindung ist ein Problem bei dynamischer Belastung.
- Während des Betriebs ist die Verbindung zu schmieren (falls sie nicht mit einer selbstschmierenden Hülse usw. ausgestattet ist).
- Die Demontagefähigkeit hängt von der Methode der axialen Verriegelung des Stiftes ab, meist eine einfache.
- Der Löseschutz hängt auch von der Methode der axialen Verriegelung des Stiftes ab; er ist am höchsten.
- Der Fehlerschutz wird vor allem durch die angrenzenden Zonen (Teile) der verbundenen Teile und nicht durch den Stift selbst bestimmt.

Produktion, Montage

- Sehr einfache Produktion, strukturelle Änderungen der verbundenen Teile sind einfach (Flächenausrichtung und Reibung), Stifte und Elemente zur Sicherstellung der Position des Stiftes werden meist als Normteile (Komponenten) bezogen. Die Herstellung von nicht standardisierten Stiften ist (in der Regel) ebenfalls sehr einfach.

4.2. Dübelverbindungen

4.2.1. Merkmale (Konstruktion)

Feste (d.h. unbewegliche) lösbare Verbindung durch (zylindrische oder konische) Dübel, die fest in die (Quer-)Löcher der zu verbindenden Teile oder in die (Längs-)Löcher zwischen den zu verbindenden Teilen eingesetzt werden.

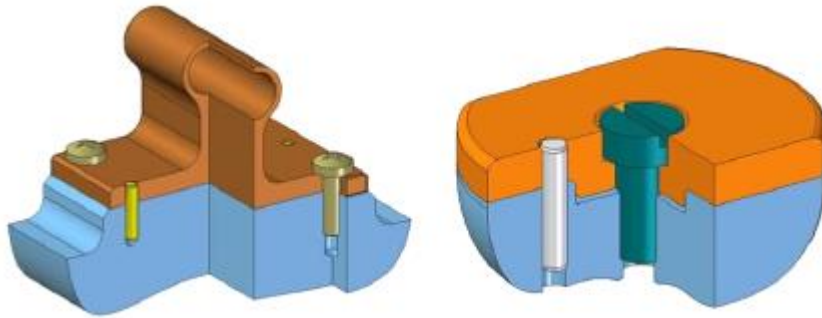
Notizen:

- Dübelverbindungen werden meist in Kombination mit anderen Arten von Verbindungen (oder Lagern) verwendet, um die gewünschten Eigenschaften der resultierenden Verbindung zu erreichen.
- Da die angrenzenden Zonen (Teile) von Maschinen, die durch Dübel verbunden sind (auch in Kombination mit anderen Arten von Verbindungen), aufgrund ihrer Struktur in der Regel schwer zu verformen sind, sind diese Verbindungen so anzuordnen, dass ihre Belastung statisch bestimmt (oder zumindest mit akzeptabler Vereinfachung lösbar) ist.

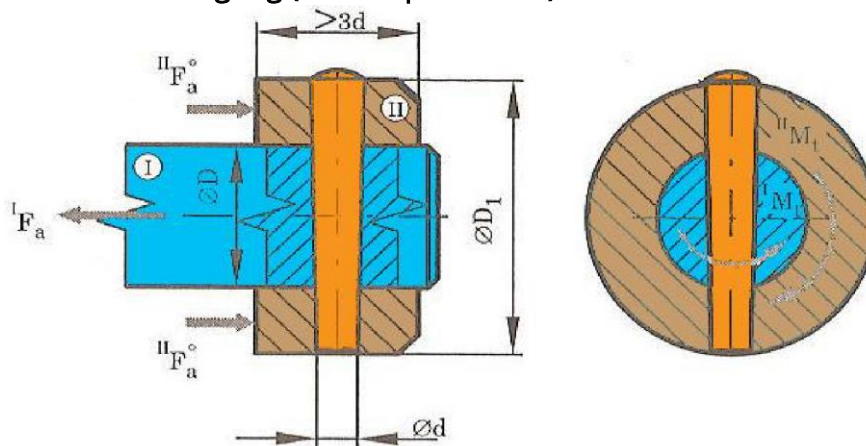
4.2.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

TYPISCHE DESIGNS

Sicherstellung der Position (Hauptfunktion)



Zur Lastübertragung (die Hauptfunktion)



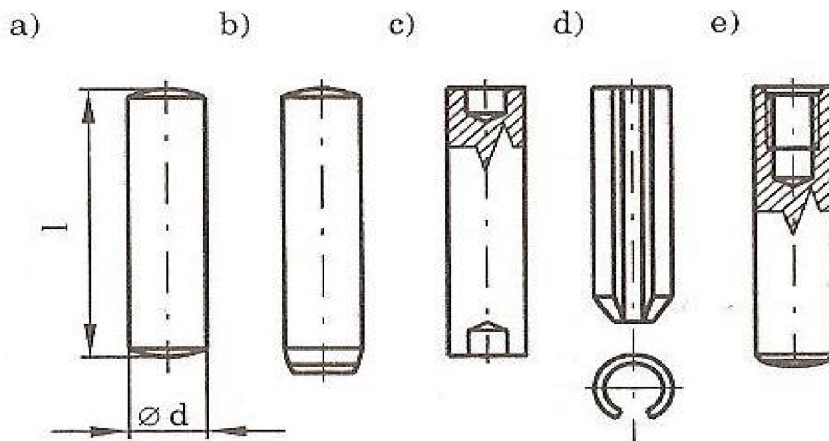
$$F_a I = F_a II = F_a$$

$$M_t I = M_t II = M_t$$

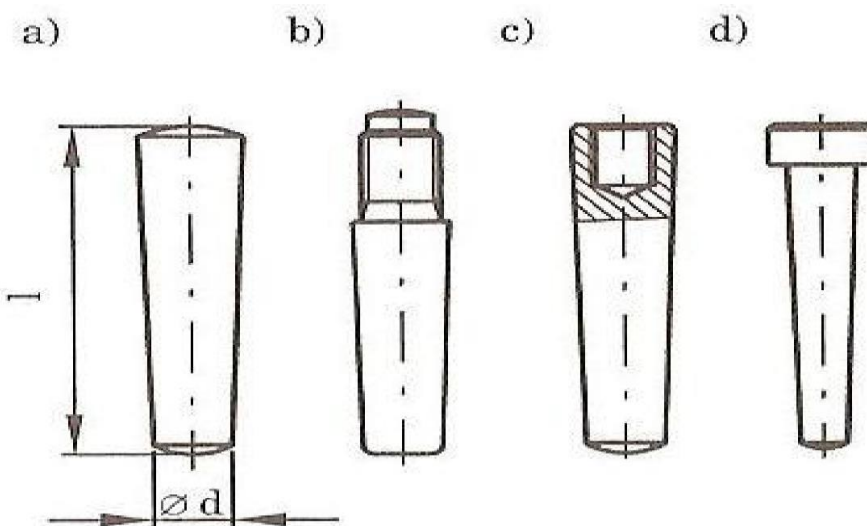
FORMEN

Standardisierte Dübel

- **zylindrisch (glatt / glatt)**
 - zylindrisch ungehärtet (Norm) (ČSN EN 22338+AC) a)
 - zylindrisch gehärtet (ČSN EN 28734) b)
 - zylindrisch mit Nieten (ČSN 02 2140) c)
 - zylindrisch flexibel mit Spalt (ČSN EN 28752) d)
 - zylindrisch mit Innengewinde, gehärtet (ČSN EN 28735) e)
 - zylindrisch mit Innengewinde, nicht gehärtet (ČSN EN 28733) e)

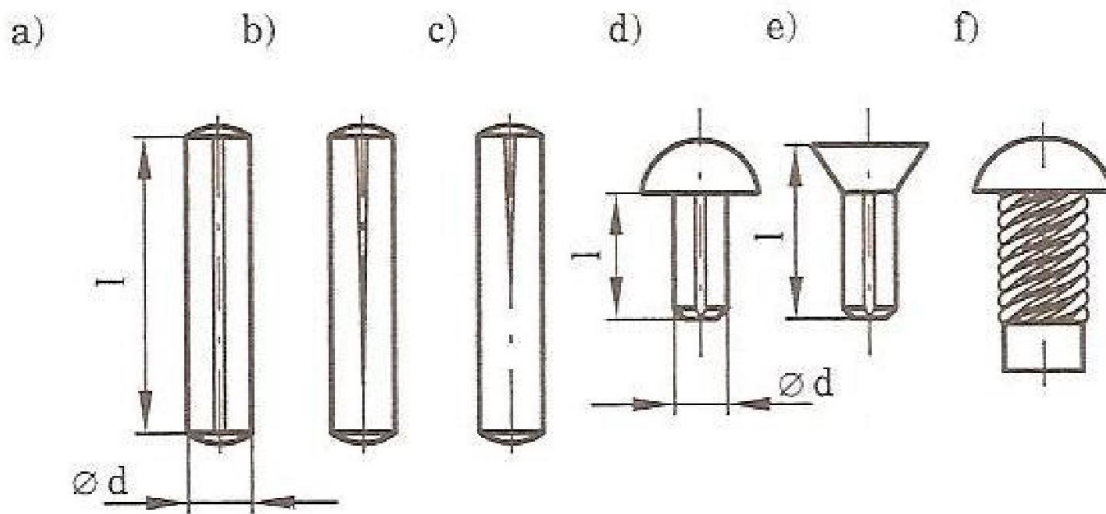


- **konisch (glatt / glatt) (Konizität 1 : 50)**
 - konisch nicht gehärtet (Norm) (ČSN EN 22339) a)
 - konisch mit Außengewinde, nicht gehärtet (ČSN EN 28737) b)
 - konisch mit Innengewinde, nicht gehärtet (ČSN EN 28736) c)
 - konisch mit Kopf (ČSN 02 2157) d)



- **Gerillt**
 - **Ohne Kopf a) ÷ c), mit Kopf (bezeichnet als Nägel d) ÷ f)**
 - mit einem Führungsstift (ČSN EN 28739) a)
 - mit einer Fasse (ČSN EN 28740)
 - mit Nuten im mittleren Drittel der Länge (ČSN EN 28742) b)
 - mit Nuten in der Mitte der halben Länge (ČSN EN 28743)
 - Kegel gerillt (ČSN EN 28744)
 - Kegelnut ab halber Länge (ČSN EN 28741) c)
 - Kegelnut auf halbe Länge (ČSN EN 28745)

- Rillennägel mit Kugelkopf (ČSN EN 28746) d)
- Rillennägel mit Senkkopf (ČSN EN 28747) e)
- Schraubnägel (ČSN 02 2195) f)



ABMESSUNGEN, TOLERANZ UND MONTAGE

Abmessungen

- Nach der entsprechenden Norm ČSN $\varnothing d$: (0,6 ÷ 50) mm mm
- l: in zugeordneten Zeilen

Toleranz und Montage

- Zylindrisch glatt in der Regel: H7/n6 (zum Vernieten H11/h11)

Material

- Zylindrische und konische Dübel: Stahlklasse 11100 (11107, 11109)
- 11300 (11323, 11373)
- 11400 (11423)
- 11600
- V Zylindrische flexible und gehärtete Dübel: Stahlklasse 11700
- Zylindrische gehärtete Dübel: Stahlklasse 19400 (19421)

4.2.3. Eigenschaften

EIGENSCHAFTEN DER NUTZMERKMALE

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung von Kräften senkrecht zur Dübelachse, um:
- Sicherstellung der gegenseitigen Beziehung der verbundenen Teile und
- Sicherstellung der Lastübertragung zwischen den angeschlossenen Teilen sicherzustellen

Eine der Funktionen ist in der Regel die Hauptfunktion (siehe TYPISCHE AUSFÜHRUNG DER VERBINDUNG), sie können aber auch gleichgestellt sein.

- Konische und gerillte Dübel sind für spielfreie Kupplungen geeignet (die gerillten jedoch nur für eine Mindestbelastung).
- Die Positionierungsdübel sind so weit wie möglich auseinander angeordnet, jedoch so, dass eine fehlerhafte Verbindung (z.B. Drehen der verbundenen Teile usw.) bei der Wiedermontage nicht möglich ist.
- Die Demontagefähigkeit und der Löseschutz müssen durch die Wahl der Dübel- und Verbindungsstruktur gewährleistet sein.
- Die Zuverlässigkeit der Verbindung gegen Bruch (insbesondere bei dynamischer Beanspruchung) wird hauptsächlich durch angrenzende Zonen (Bereiche) der Verbindungsteile beeinflusst, in denen die Dübellöcher nachteilige Kerbwirkungen haben.

Produktion, Montage

- Sehr einfache Produktion (nur Bohren und Reiben während der Montage), Dübel werden fast ausschließlich gekauft.
- Bei der Montage ist er je nach Dübeltyp gegen Lösen zu sichern (konisch und gerillt "schieben", etc.).

ZEITLICHE EIGENSCHAFTEN

Prozessgeschwindigkeit

- schnelles Design, Produktion (und Einkauf), Montage und Demontage.

WIRTSCHAFTLICHE EIGENSCHAFTEN

Prozessökonomie

- wirtschaftliche Verbindung.
- Betriebskosten entstehen nur durch die Notwendigkeit der Schmierung.
- Minimale Demontagekosten.

5. Formung von Wellen-Naben-Verbindungen - durch Federn, Keile und Nuten

5.1. Feder- und Keilverbindungen

5.1.1. Merkmale (Konstruktionsmerkmale)

Leicht lösbare Verbindungen durch Federn oder Keile in Prismenform (für Keile mit ab-geschrägter Oberfläche), die in Längs- oder ausnahmsweise Querbohrungen entspre-chend den Formen in den verbundenen Teilen eingesetzt werden.

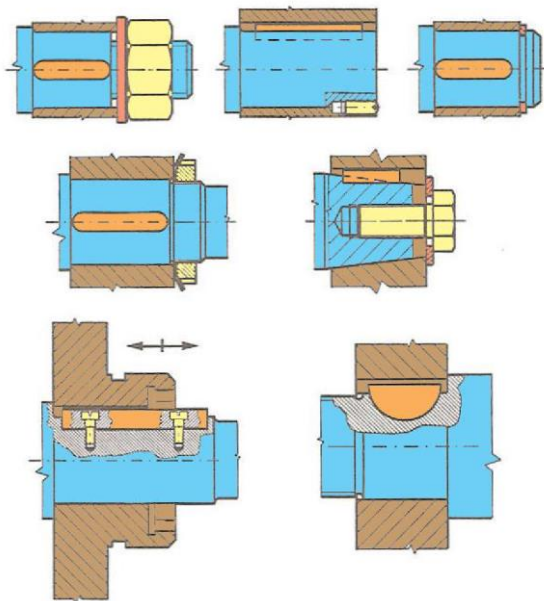
Notizen:

- Feder- und Keilverbindungen werden fast ausschließlich für die zylindrischen Be-reiche eingesetzt. Deshalb werden wir von nun an nur noch diesen Fall berück-sichtigen.
- Feder- und Keilgelenke werden meist in Kombination mit anderen Arten von Ge-lenken und Lagern eingesetzt, so dass alle gewünschten Eigenschaften der resul-tierenden Verbindung erreicht werden (relative axiale Position, Ausrichtung der verbundenen Teile, etc.).
- Da die durch Federn und Keile verbundenen angrenzenden Zonen (Bereiche) der Maschinenkomponenten (sowie deren Kombination mit anderen Verbindungsar-ten) aufgrund ihrer Struktur in der Regel schwer zu verformen sind, wird empfoh-len, die Verbindungen so zu platzieren, dass ihre Belastung statisch bestimmt (o-der zumindest mit einer angemessenen Vereinfachung lösbar) wurde.

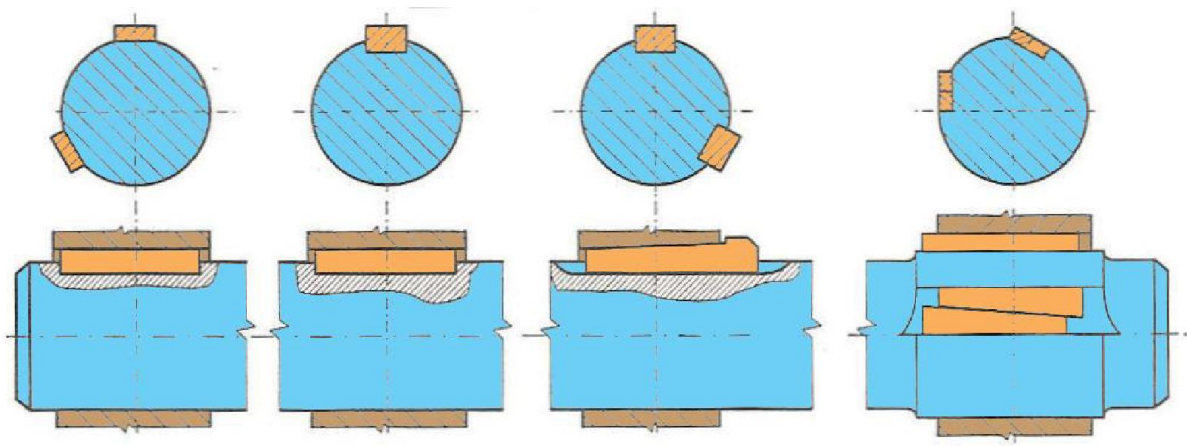
5.1.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

TYPISCHES DESIGN

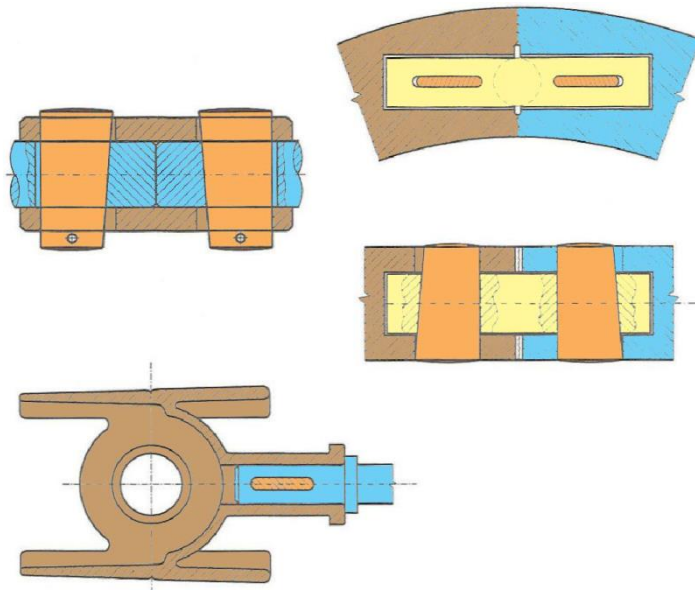
Federverbindungen (einschließlich des Verfahrens zum Sichern der verbundenen Teile gegen Verschiebung)



Längskeilverbindungen (abgeschrägte "obere" Fläche des Keils 1:100)



Querkeilverbindungen (abgeschrägte "Seitenfläche" des Keils 1:25 - 1:10)



Notizen:

- Längskeilgelenke werden zur Verbindung von Nabe und Welle eingesetzt. Sie unterscheiden sich von der analogen Verbindung mit einer Feder bei der Übertragung der Last durch die Reibungskraft, die durch das Einschieben des Keils in eine Nut mit der gegenüberliegenden Fase (oder auf den zweiten Keil, so dass die Böden beider Nuten nicht angefasst werden müssen) entsteht. Die seitlichen Bereiche des Keils in der Nut oder anderen Stützbereichen dienen als Rutschsicherung. Längskeilgelenke eignen sich daher für die Übertragung großer Lasten, auch bei Stoßbelastungen.

- Zu ihren wesentlichen Nachteilen gehören:

= Der Normalkraft (Druck), der durch das Schieben des Keils entsteht und damit tangentielle Reibungskräfte, die die Tragfähigkeit der Verbindung sicherstellen, ist nicht zu ermitteln.

= Durch die Verkeilung sind die Querspiele in der Verbindung nur in eine Richtung, was bei ihrer häufigsten Verwendung zwischen der Nabe (Riemenscheibe, Stirnrad, Schwungrad, etc.) und der Welle ein Defekt ist.

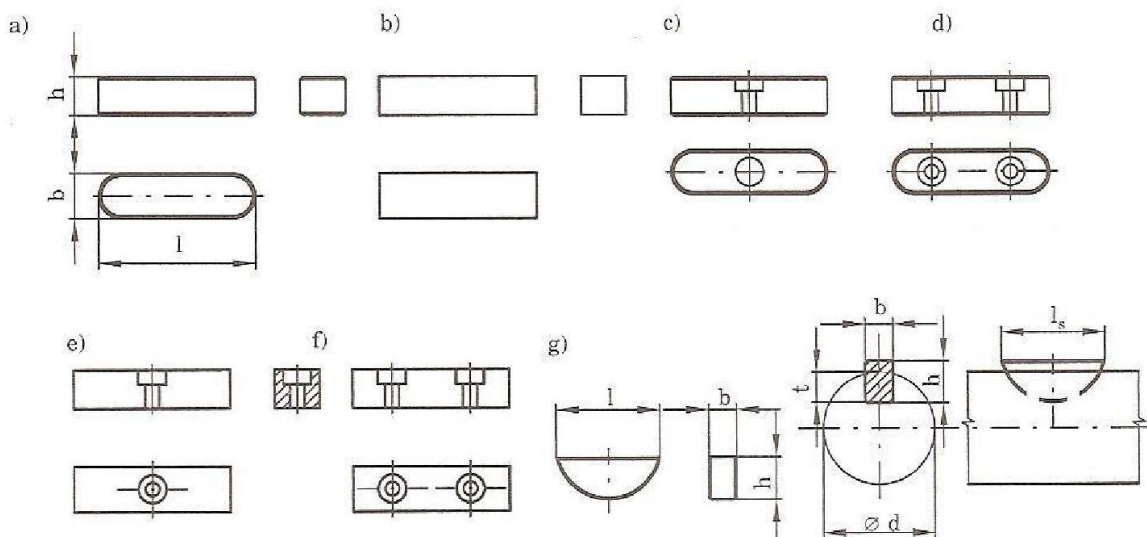
- Längskeilgelenke werden daher praktisch nicht eingesetzt; wenn ja, werden ihre Seitenflächen für die Übertragung der Vollast ausgelegt und bewertet, wie bei den Keilverbindungen. In der empfohlenen Literatur finden Sie detaillierte Informationen zu deren Lösung.

- Querkeilgelenke wurden hauptsächlich für große Kurbeltriebe, Schwungräder, Zugstangen usw. verwendet. Derzeit werden sie nur noch selten eingesetzt. Die empfohlene Literatur bietet detaillierte Informationen für ihre Lösungen.
- Von nun an werden nur noch die üblichen Längsfederverbindungen berücksichtigt.

FORMEN, ABMESSUNGEN, TOLERANZ UND MONTAGE

Typen nach ČSN (nicht genormte Schlüssel werden praktisch nicht verwendet)

- **Dicht - für Schieberverbindungen**
 - runde Enden (ČSN 02 2562) a)
 - gerade Enden (selten verwendet) (ČSN 30 1382) b)
- **Auswechselbar und lose - für Schieberverbindungen**
 - runde Enden ("austauschbar") (ČSN 02 2570) 1 sc. c) - (ČSN 02 2575) 2 šr. d)
 - gerade Enden ("lose") (ČSN 30 1383) 1 sc. e) - (ČSN 30 1385) 2 šr. f)
- **Woodruff** - für rutschfeste Verbindungen
 - (nur $d \leq 50$ mm) g)
 - (ČSN 30 1385)
- **andere Formen** (Schlitze, Gewindebohrungen, etc.) - entsprechend der jeweiligen ČSN



Abmessungen

- gemäß dem entsprechenden ČSN für $\varnothing d$: (6 ÷ 500) mm
 - l : in zugeordneten Zeilen
- Zuordnung des Querschnitts der KEYS zu den Wellenabmessungen gemäß ČSN
 - (ČSN 02 2507, ČSN 30 1036, ČSN 30 1037)

Notizen:

- Die Zuordnung des Querschnitts bedeutet nicht, dass es nicht notwendig ist, den Schlüssel durch Belastung zu entwerfen und zu beurteilen. Die Unterschiede liegen in der Kontaktlänge der Passfeder.
- Übliche Schlüssellänge: 1 ÷ 1,5 d für Stahlbauteile
- 1,5 ÷ 2,5 d für Gussteile

Toleranz und Montage

- **Zylindrischer Teil der Verbindung:**
 - rutschfeste Verbindungen (konventionell): H8/h7 (oder H8/k7)
 - (höhere Anforderungen: vorläufig H8/m7, H8/p7)
 - (hohe Anforderungen: vergossen H7/r6, H7/ H7/

Material

- konventionell: Stahl 11 600
- für erhöhte Belastung: Stahl 14 240

5.1.3. Eigenschaften

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung von Kräften quer zur Längsachse der Passfeder. Wenn die Verschiebung entlang der Schlüsselachse nicht gewünscht wird, ist es notwendig, die Verbindung auf andere Weise zu sichern (siehe TYPISCHES DESIGN). Bei kleinen Axialkräften ist es möglich, die Lagerung von Zylinderflächen mit Aufmaß zu verwenden.
- Das Spiel in der Verbindung ist bei dynamischer Belastung ein Fehler.
- Die Demontagekapazität hängt von der Art der Sicherung in axialer Richtung ab; in der Regel einfach.

- Der Löseschutz hängt auch von der Art und Weise der Sicherung in axialer Richtung ab; meist hoch.
- Die Ausfallsicherheit wird hauptsächlich durch die angrenzenden Zonen (Bereiche) der verbundenen Teile gewährleistet, in denen die Schlitze für die Feder negative Kerbwirkungen haben.

Produktion, Montage

- Zur Herstellung der Schlitze ist ein spezielles Werkzeug erforderlich, Federn werden gekauft.
- während der Montage ist es notwendig, die axiale Verschiebung der verbundenen Teile zu sichern oder zu reduzieren.

ZEITLICHE ASPEKTE

Prozessgeschwindigkeit

- Schnelles Design, relativ langsame Produktion (wenn keine Spezialwerkzeuge verfügbar sind). Nicht für die Massenproduktion geeignet.
- Die Geschwindigkeit des Auf- und Abbaus hängt von der Gesamtkonstruktion ab; in der Regel schnell.

FINANZIELLE ASPEKTE

Prozessökonomie

- mittlerer Aufwand für die Verbindung
- keine Betriebskosten
- relativ niedrige Demontagekosten

5.2. Keilwellenverbindungen

5.2.1. Merkmale (typische Struktureigenschaften)

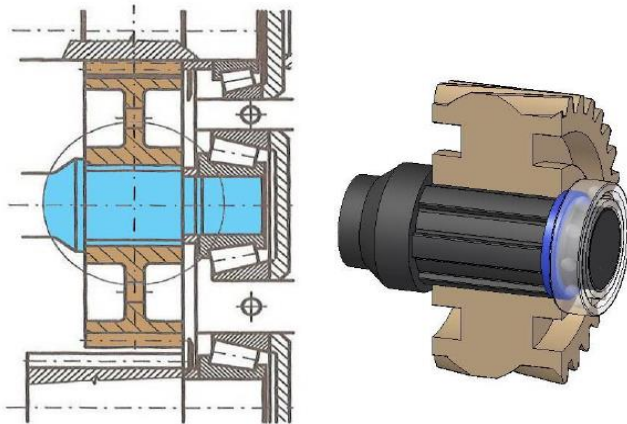
Leicht demontierbare Verbindungen durch Mitwirkungsschlitze (Zähne, Schlüssel) an den verbundenen Teilen.

Notizen:

- Keilzinkenverbindungen werden ausschließlich mit den auf der axialsymmetrischen Fläche erzeugten Nuten verwendet. Die Schlitzte können somit parallel, schräg und senkrecht zur Gelenkachse sein. Im Weiteren werden nur noch die am häufigsten verwendeten Keilwellenverbindungen nach dem Prinzip des Zusammenwirkens von äußeren und inneren Rillen (Zähnen) auf der zylindrischen Oberfläche (dh parallel zur Symmetrieachse (Mittelpunkt) des Gelenks) betrachtet.
- Keilzinkenverbindungen mit Nuten auf der Zylinderfläche werden meist in Kombination mit anderen Arten von Verbindungen (oder Lagern) verwendet, so dass alle gewünschten Verbindungseigenschaften erreicht werden (relative axiale Position, manchmal präzisere Ausrichtung der verbundenen Teile, etc.).

5.2.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

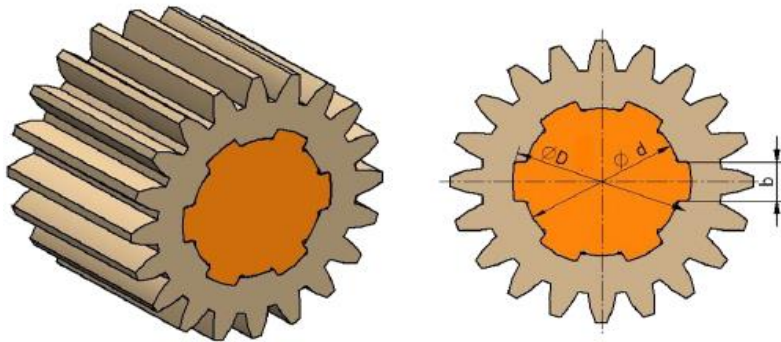
TYPISCHES DESIGN (einschließlich der Verfahren zur Sicherung gegen axiale Verschiebung)



FORMEN, ABMESSUNGEN UND TOLERANZEN

I. PARALLELES EINSTECHEN (ČSN 01 4942)

Grundform des Querschnitts



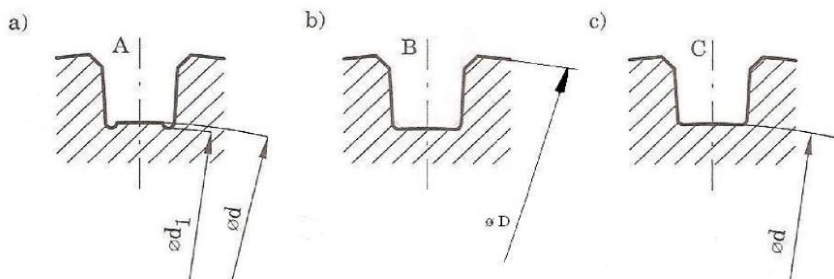
Typen nach Anzahl und Abmessungen der Nuten / Passfedern

- leichte Baureihe
- mittlere Serie
- schwere Baureihe

Hinweis:

Alle drei Serien haben die gleiche Einstufung von ϕd nach ČSN.
Typen (Designs) nach dem Verfahren der Zentrierung und Herstellung

- Eine Zentrierung auf den Innen- ϕd in der Fertigung mittels Wälzfräser a)
- B Zentrierung auf den Außen- ϕd oder Seiten b)
- C Zentrierung auf den Innen- ϕd c)



Abmessungen

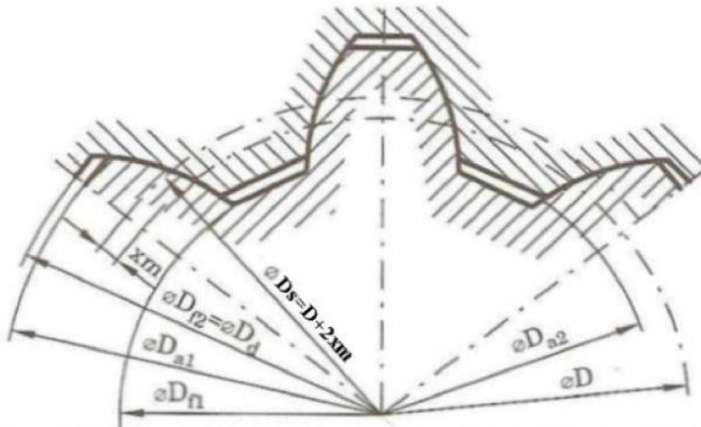
- Gemäß ČSN (01 4942) Nennweite ϕd : (23 ÷ 112) mm (in einer Reihe), Kontaktlänge l_{st} (1 ÷ 1,5) d stř

Toleranz und Montage

- Laut ČSN (01 4949)

II. EVOLVENTEN-NUTEN (ČSN 01 4952 - 01 4955)

Grundform des Querschnitts



Verzahnung

- Form der Nutseiten: evolventisch
- Eingriffswinkel: $\alpha = 30^\circ$.
- Module : $m = (0,5 \div 10)$ mm
- positive und negative Korrektur: $xm < 0$
- $xm > 0$
- Anzahl der Zähne: $z = 6 \div 20$

Typen nach der Methode der Zentrierung und Formgebung (Design) von Nuten:

- Zentrierung an den Seiten der Zähne, flacher Boden
- Zentrierung an den Zahnseiten, konvexer Boden
- Zentrierung auf dem Kopf der Wellenzähne, flacher Boden

Hinweis:

- Am häufigsten wird die Zentrierung auf den Zahnseiten verwendet; die Zentrierung auf dem Kopf der Wellenzähne (äußere Zentrierung) wird nur bei erforderlicher Genauigkeit der Wellen- und Nabenausrichtung verwendet.

Abmessungen

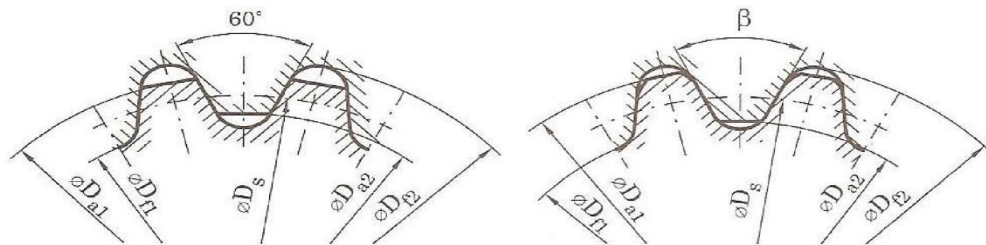
- Gemäß ČSN (01 4952 - 01 4955), Nenn-Dd = (4 ÷ 500) mm, Kontaktlänge l_{st} (1 ÷ 1,5) d_{str}

Toleranz und Montage

- Laut ČSN (01 4953)

III. FEINE NUTENBILDUNG

Grundform des Querschnitts



Verzahnung

Pro $\varnothing D_{a1} \leq 60\text{mm}$:	
tvar boků zubů na hřídeli i náboji:	rovinný
sklon boků drážek:	$\beta = 60^\circ$
Pro $\varnothing D_{a1} > 60\text{mm}$:	
tvar boků zubů na hřídeli:	evolventní
modul:	$m = 1,5 \text{ mm}$
úhel záběru:	$\alpha = 27^\circ 30'$
tvar boků zubů v náboji:	rovinný
sklon boků drážek (podle $\varnothing D_{a1}$):	$\beta \cong 60^\circ (57^\circ \div 63^\circ)$
počty zubů:	$z = 6 \div 20$

Legende:

pro - für, tvar boků zubů na hřídeli i náboji - Zahnform Seiten auf der Welle und Nabe, rovinný - flach, sklon boků drážek - Steigung der Schlitzflächen, tvar boků zubů na hřídeli - Zahnform Seiten auf der Welle, evolventní - evolvent, Modul - Modul, úhel záběru - Eingriffswinkel, tvar boků zubů v náboji - Zahnform Seiten in der Nabe, počty zubů - Anzahl der Zähne

Abmessungen

- Gemäß ČSN (01 4933) Nenn- $\varnothing Da1 = (8 \div 120) \text{ mm}$, Kontaktlänge $l_{st} (1 \div 1,5) d_{st}$

Toleranz und Montage

- Laut ČSN (01 4933)

MATERIAL

Qualitätsstahl für beide verbundenen Teile:

- Mindestdruckfestigkeit: $\sigma_{Pt} \geq 500 \text{ MPa}$
- Mindesthärte der Seiten für Gleitverbindungen: $\text{HRC} \geq 55$

5.2.3. Eigenschaften I. und II. Paralleles und evolventisches Einstechen

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung hoher Drehmomente unter Wechsel- und Stoßbelastung, Spiel in Schlitten kann ein Fehler sein.
- Die Anforderungen an die genaue Ausrichtung müssen entweder durch eine (teurere) Verzahnung oder eine andere Zentrierungsmethode sichergestellt werden.
- Geeignet für die axiale Verschiebung der verbundenen Teile ohne Belastung oder mit Drehmomentbelastung; ansonsten ist eine axiale Sicherung erforderlich.
- Die Demontage hängt von der Art der Sicherung in axialer Richtung ab; meist einfach.
- Die Ausfallsicherheit (insbesondere bei dynamischer Belastung) wird durch die Kerbwirkung von Schlitten und deren Ausläufen beeinflusst.

Produktion, Montage

- Die Produktion erfordert spezielle Werkzeuge und Maschinen.
- Relativ einfache Montage

ZEITLICHE ASPEKTE

Prozessgeschwindigkeit

- Schneller Entwurf (unter Verwendung der Daten in den Tabellen von ČSN)
- Relativ schnelle Produktion nur bei Verwendung geeigneter Geräte, schneller Montage und Demontage.

WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Teure Verbindung, nur bei Massenproduktion wirtschaftlich - in diesem Fall wirtschaftlicher als Schlüsselverbindungen, etc.
- Betriebskosten bei beweglichen Gelenken nur durch Schmierung, außer diesem - keine Kosten.
- Minimale Demontagekosten.

5.2.4. Eigenschaften III. Feine Nutzenbildung

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung von Drehmomenten, im Vergleich zu Keilverbindungen kürzere Verbindungen bei gleicher Belastung
- Muss gegen axiale Verschiebung der verbundenen Teile gesichert sein.
- Die Demontage hängt von der Art der Sicherung in axialer Richtung ab, die meist einfach ist.
- Ausfallsicherheit durch Kerbwirkung der Schlitze und deren Ausläufe beeinträchtigt, Schwächung der Welle ist geringer als bei Parallel- und Evolventen-Nuten.

Produktion, Montage

- Wie beim Parallel- und Evolventenfräsen.

ZEITLICHE ASPEKTE

Prozessgeschwindigkeit

- Wie beim Parallel- und Evolventenfräsen.

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Wie beim Parallel- und Evolventenfräsen.

6. Starke Verbindungen von Welle und Nabe - Crimpen und Klemmen

6.1. Crimpverbindungen

6.1.1. Merkmal (typische Struktureigenschaften)

Starre (d.h. unbewegliche, im Betrieb verbundene) und schwer demontierbare Verbindungen, die nach dem Prinzip der dauerhaften, flexiblen Vorspannung der verbundenen Teile durch Aufmaß in ihrer Kontaktfläche (beliebiger Form) arbeiten.

Im Weiteren die gebräuchlichste Crimpverbindung mit einer zylindrischen (oder leicht konischen 1 : 50) Kontaktfläche.

6.1.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

Außenteil ("Nabe")

Rotationssymmetrischer Teil (Zahnrad, Hohlrad, Kupplungsscheibe, Schwungrad usw.) oder sein verformungsaktiver Teil (siehe unten), dessen innere (funktionale) zylindrische Bohrung mit einer bestimmten Toleranz und Qualität der Oberfläche ausgeführt ist.

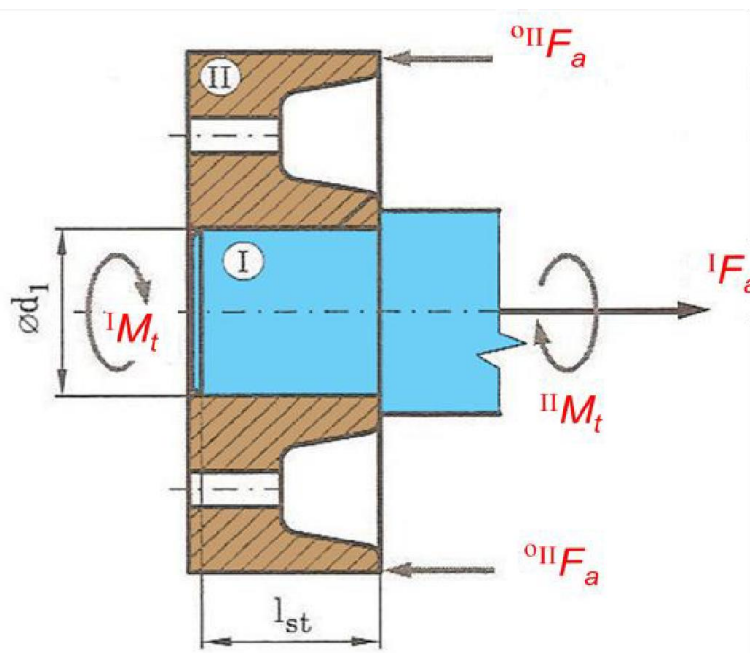
Innenteil ("Stift")

Rotations-, symmetrisches, Voll- oder Hohlteil (Zahnkranzscheibe, Voll- oder Hohlwelle usw.), dessen äußere (funktionale) Zylinderfläche innerhalb der Maßtoleranz unter Berücksichtigung der Abmessungen der jeweiligen zylindrischen Bohrung des Außenteils und mit bestimmter Oberflächenqualität hergestellt wird.

Hinweis:

- Zulage kann in umgekehrter Reihenfolge bestimmt werden (Außenteil \Leftrightarrow Innenteil), die oben genannte Alternative ist produktionstechnisch deutlich besser geeignet und daher häufiger anzutreffen.

Typisches Design



$$M_{tI} = M_{tII} = M_t$$

$$F_{I} = F_{II} = F$$

Das Symbol $^{\circ}$ bedeutet, dass es in allen Umfangsbereichen wirkt.

6.1.3. Eigenschaften

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung von Drehmoment und / oder axialer Reibungskraft, die in der Kontaktfläche durch permanente Vorspannung und Reibungskoeffizienten erzeugt werden. Das Gelenk kann auch das Biegemoment aufnehmen.
- Geeignet auch für große Belastungen (Wechsel, Stoß), da kein Spiel in der Verbindung vorhanden ist.
- Hohe Genauigkeit der Ausrichtung und Rechtwinkligkeit der Verbindung
- Hohe Zuverlässigkeit aller Eigenschaften der Verbindung.
- Keine Wartung erforderlich bei Demontage (Austausch, Reparaturen der angeschlossenen Teile) Die Demontage ist sehr schwierig, manchmal sogar unmöglich.

Produktion, Montage

- Hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Fertigungstoleranz.
- Relativ schwierige Montage:
 - Kaltpressen (Pressenausrüstung)
 - Warmziehen (nicht pressen!) – (für gleichmäßige Wärme und sichere Handhabung mit Außenteil) mit einer möglichen Kühlung des Innenteils (Kühlgeräte).
 - In beiden Fällen ist eine axiale Auslösung der Teile erforderlich, um die axiale Position zu fixieren (d.h. Abstützung, meist ringförmige Fläche senkrecht zur Achse).
- Geeignet für alle Arten der Produktion bei Verwendung geeigneter Produktionsanlagen (Einzelfertigung, Kleinserienfertigung,....).

Weitere Aspekte

- Relativ gefährliche Montage - Pressen oder Manipulation mit einem heißen Teil beim Warmziehen.
- Relativ betriebssicher - glatte Formen.
- Die Lagertoleranz muss gemäß ČSN erfolgen.

ZEITLICHE ASPEKTE

Prozessgeschwindigkeit

- Die Verbindung ist für eine schnelle Planung und Ausführung geeignet, erfordert keine besonderen Maßnahmen (Material, Halbprodukte, Werkzeuge), wenn ein geeignetes Press- oder Heizgerät (Kühlung) zur Verfügung steht.
- Nicht geeignet für schnelle Reparaturen und Demontagen.

KOSTENVERLÄUFE

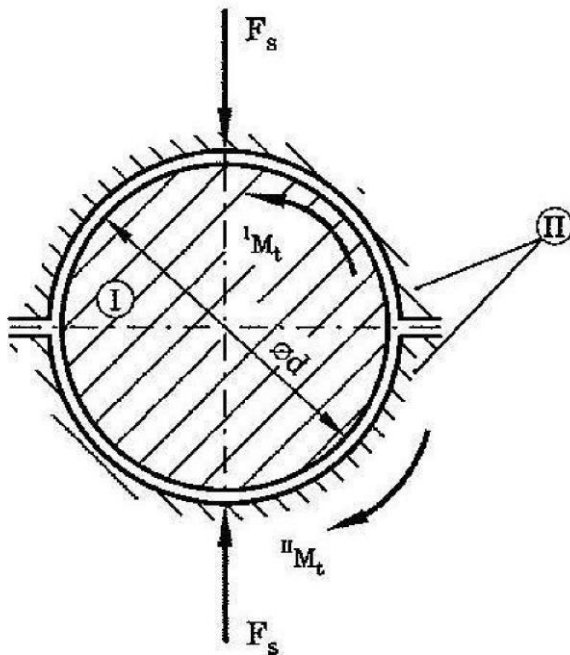
Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Mittlere Produktionskosten
- Keine Betriebskosten.
- Hohe Demontagekosten

6.2. Klemmverbindungen

6.2.1. Merkmal (typische Struktureigenschaften)

Starre, leicht lösbare Verbindungen nach dem Prinzip des Festklemmens (oder Verspannens) der verbundenen Teile in ihren Kontaktflächen (beliebiger Form) mit Hilfe von Elementen, die nicht an der Übertragung der Belastung beteiligt sind. Im Weiteren sind diese die gängigsten Spannverbindungen mit rotationssymmetrischer Kontaktfläche.



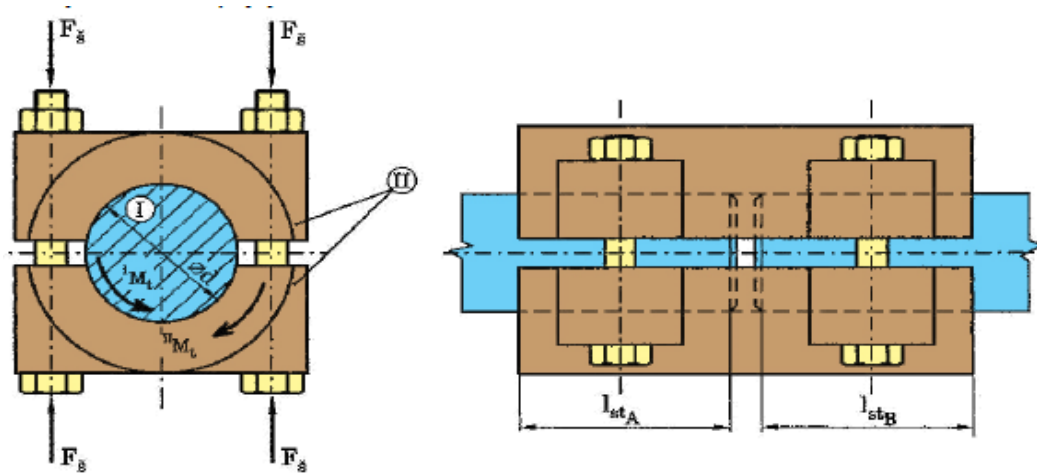
Kontaktlänge: l_{Mt}
 $M_t I = M_t II = M_t$

6.2.2. Struktur - I. Klemmverbindungen mit Zylindrischer Kontaktfläche

(grundlegende Konstruktionsmerkmale)

A) MIT EINEM GETEILTEN AUßENTEIL

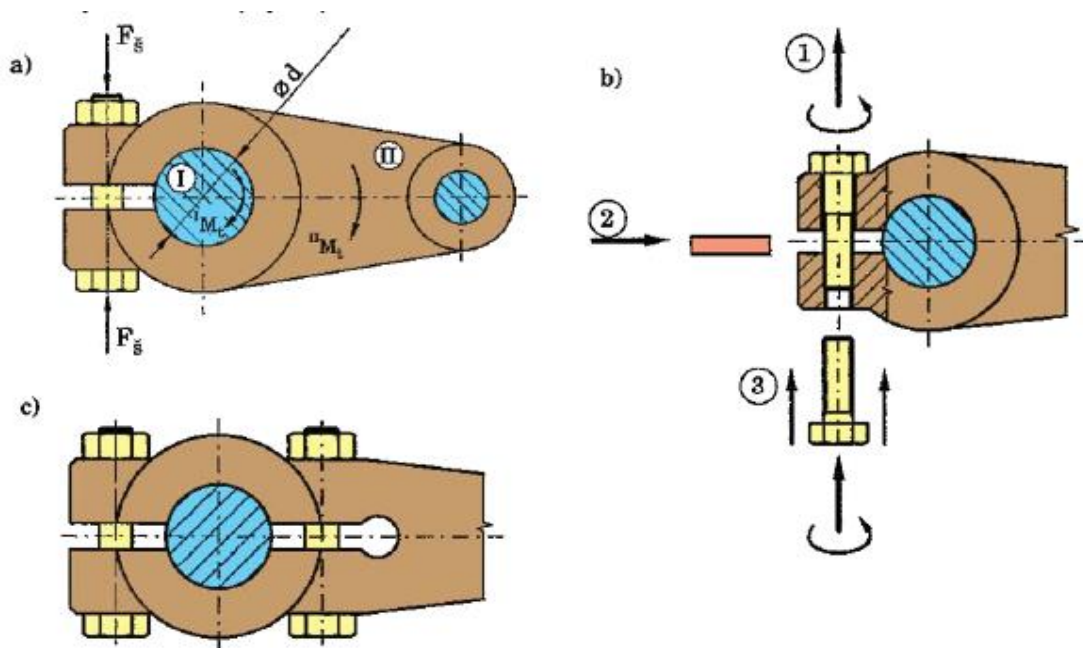
In der Regel werden Kupplungen von Wellen geklemmt:



$$M_t I = M_t II = M_t$$

B) MIT EINEM TEILWEISE GETEILTEN AUßENTEIL

In der Regel Klemmverbindungen von Hebeln mit Welle:



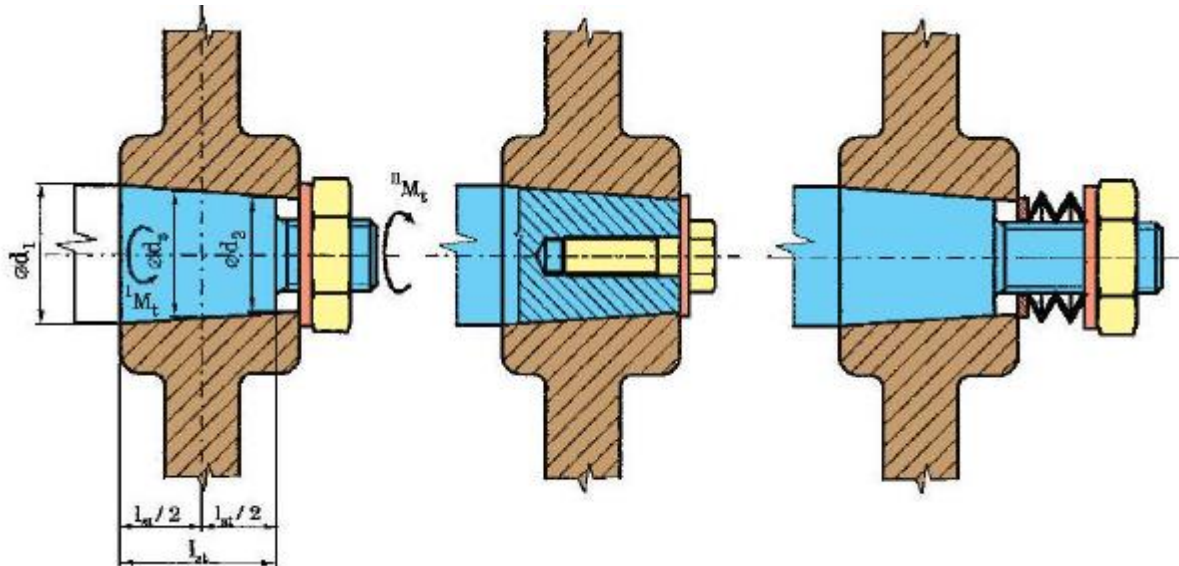
Montage des Innen- und Außenteils:

- A), B) a) a) b) - temporär B) c) - mit Überlappung (klein A)
- Entweder H8/j7 oder H8/k7 H8/n7 oder H8/p7.
- oder H7/j6 oder H7/k6 H7/n6 oder H7/p6.
- C) MIT EINEM NICHT GETRENNTEN AUßENTEIL (für kleine \varnothing und kleine M_t)

6.2.3. Struktur - II. Klemmverbindungen mit konischer Kontaktfläche

(nur bei ungeteiltem Außenteil)

In der Regel für die Verbindung von Naben mit einer Welle an ihren Enden:



$$M_{tI} = M_{tII} = M_t$$

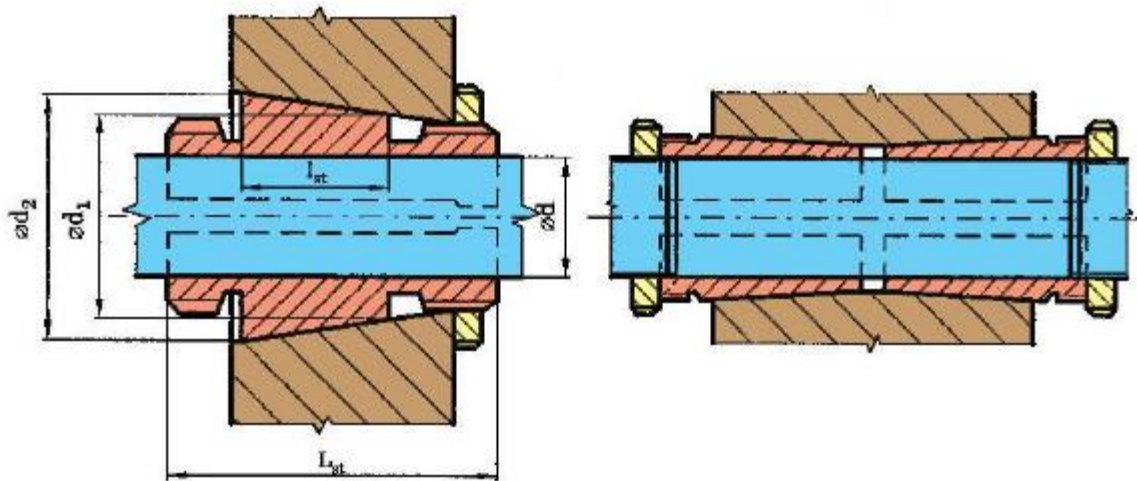
$$d_s = d_1 + d_2$$

Konizität: 1:5 až 1:10

6.2.4. Struktur - III. Klemmverbindungen mit konischer Hülse

(nur bei ungeteiltem Außenteil)

In der Regel zum Verbinden ("Naben") von inneren Lagerringen usw. mit der Welle in beliebiger Länge:



Konizität: 1:10 - 1:15

Montage der Hülsen auf der Welle - temporär: H8/j7

Diese Verbindungen werden nicht für die Übertragung großer Lasten verwendet, daher werden sie nicht weiter berücksichtigt.

6.2.5. Eigenschaften

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung von Drehmoment und Axialkraft (Reibungskraft, die durch Klemmen in der Kontaktfläche erzeugt wird) durch Verspannung und Reibungskoeffizienten). Das Gelenk kann das Biegemoment aufnehmen.
- Einfache Montage, Austausch und Rückstellung der Relativposition der verbundenen Teile (außer der axialen Position der Gelenke mit der konischen Kontaktfläche).
- Die Zuverlässigkeit der Verbindung hängt wesentlich von der Zuverlässigkeit der Sicherung der Klemmelemente gegen Lösen ab.
- Hohe Zuverlässigkeit gegen Ermüdungsbruch (keine Kerben auf der Welle).

Produktion, Montage

- Relativ einfache Produktion und Montage
- Geteilte Teile sind gleichzeitig zu bearbeiten.
- Einfache Montage und Einstellung der relativen Position der verbundenen Teile (außer der axialen Position der Gelenke mit der konischen Kontaktfläche).

Weitere Aspekte

Relativ gefährlich für den Service bei Rotation aufgrund äußerer, nicht rotierender Formen (muss manchmal abgedeckt werden).

ZEITLICHE ASPEKTE

Prozessgeschwindigkeit

- schnelle Konstruktion, Montage, Wartung, Demontage.

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- relativ niedrige Produktionskosten
- Null Betriebskosten.
- minimale Demontagekosten.

7. Flexible Verbindungen

7.1. Grundlegende Informationen

7.1.1. Merkmal (typische Konstruktionseigenschaften)

Maschinenteile (Organe), deren Hauptfunktion darin besteht, mechanische Energie nach dem Prinzip der elastischen Verformung des Materials aufzunehmen, zu erhalten und wieder freizusetzen.

Notizen:

- Der Grundteil jeder Feder ist "eine einzelne Feder". Bei Schraubenfedern ist es notwendig, die Belastung der einzelnen Federn anhand von Kraft (z.B. Moment) und Verformungsbedingungen zu bestimmen. Die Belastung der einzelnen Federn wird gesondert behandelt. Die Eigenschaften der Verbundfeder werden durch das umgekehrte Verfahren erhalten. In den meisten Fällen werden Federn nach dem Prinzip der flexiblen Formen oder formbaren Materialien eingesetzt. Federn auf der Basis von duktilen Materialien (pneumatisch, hydropneumatisch, etc.) werden nur in Sonderfällen eingesetzt und sind daher nur im Einführungsteil dieses Kapitels erwähnt.

7.1.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

LEISTUNGSKENNLINIE UND FEDERDIAGRAMM

Verschieben und Drehen aufgrund von Deformation:

$$u = f(k, F [N]) [mm], \varphi = f(k\varphi, Mt [Nmm]) [rad]$$

Steifigkeit und Verwindungssteifigkeit:

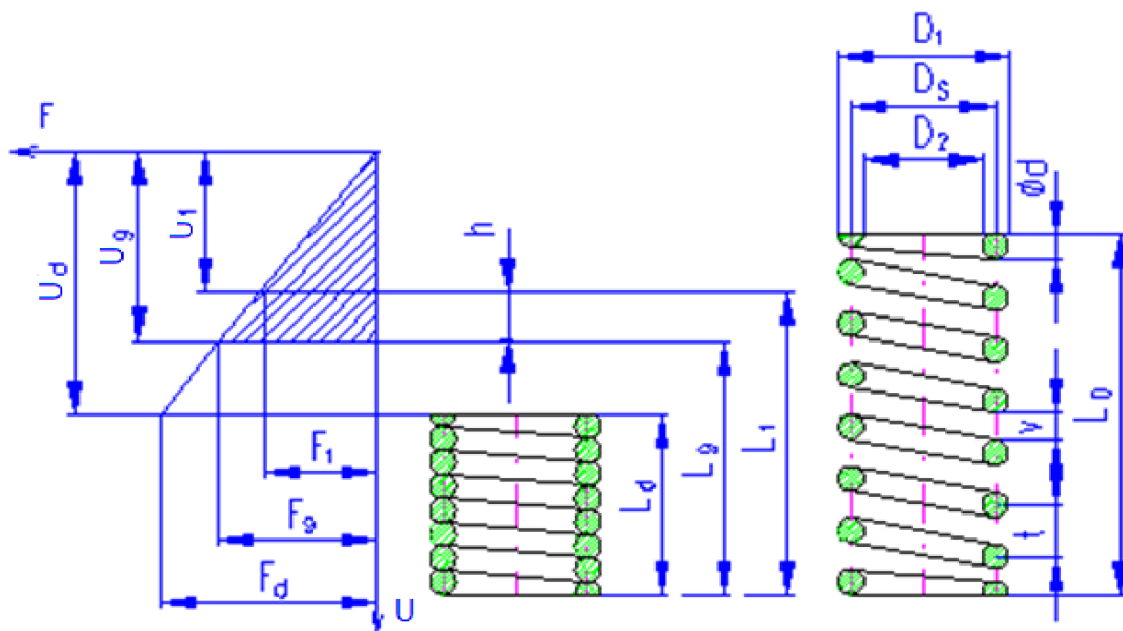
$$k = dF[N]du[mm][N.mm^{-1}], k\varphi = dMt[Nmm]d\varphi[rad][N.mm.rad^{-1}]$$

Arten von Leistungsmerkmalen:

- durch Verformungsbiegung in Abhängigkeit von der Belastung:
 - linear
 - nichtlinear (kontinuierlich und gebrochen)
 - progressiv
 - degressiv
- durch interne Verluste:
 - ohne Hysterese a)
 - mit Hysterese b)

Arbeitsfederdiagramm

Beispiele für lineare Schraubenfedern:



MATERIALARTEN

A) Metallisch

Stähle

Für hohe Beanspruchung, auch bei dynamischer Belastung. Hochwertiger vergüteter Stahl mit hoher Flexibilität, Festigkeit, Ermüdung und Zähigkeit:
Stahl aller Klassen: 11 000 (mindestens 11 800) - 19 000.

Die Festigkeit der für Federn verwendeten Drähte wird durch ihre mechanische Verstärkung (Ziehen) während der Herstellung erhöht. Der Einfluss der Verstärkung ist mit dem größeren Durchmesser des Drahtes geringer.

Daher ist es bei der Bestimmung der Festigkeit von Drahtmaterial notwendig, nicht nur die Art des Materials (einschließlich der Wärmebehandlung), sondern auch den Drahtdurchmesser zu berücksichtigen / siehe die folgenden Beispiele).

B) Nichtmetallisches Material

Gummi

Für geringe Belastung und besondere Anforderungen (hohe Innendämpfung, Nichtleitfähigkeit von Strom, Wärmedämmung, etc.)

Der Nachteil ist die geringe Beständigkeit gegen niedrige und hohe Temperaturen ($-35^{\circ}\text{C} < t < 50^{\circ}\text{C}$), die kürzere Lebensdauer insbesondere bei dynamischer Belastung und die geringe chemische Beständigkeit gegen Öl und Benzin.

Kunststoffe

Für geringe Belastungen und besondere Anforderungen (wie bei Gummi; im Vergleich zu Gummi weisen Kunststoffe eine höhere Beständigkeit gegen höhere Temperaturen ($-40^{\circ}\text{C} < t < 120^{\circ}\text{C}$) und eine höhere chemische Beständigkeit gegen Öl und Benzin auf.

C) Spezielles Material ("Medien")

Neben den oben genannten metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen werden auch Flüssigkeiten und Gase in speziellen Federelementen als flexibler Werkstoff eingesetzt, meist mit Hilfe von hydraulischen oder hydropneumatischen Systemen.

KRITERIEN FÜR DIE AUSWAHL DES MATERIALS

- Federtyp (Struktur etc.)
- Verwendung (Funktion, Parameter,....)
- Spannung und Verformung (Typen, Größe,....)
- Umgebung (Hitze, Aggressivität,....)
- besondere Anforderungen (elektrische Leitfähigkeit, Magnetizität,....)

7.1.3. Grundeigenschaften

Die Eigenschaften von mechanischen Energiespeichern werden in Antriebssystemen und Umkehrmechanismen genutzt:

- zur Erfassung statischer und dynamischer Kräfte oder Momente
- zur Änderung der Frequenzen und Schwingungsformen von mechanischen Systemen
- zum Messen und Regeln von Kräften und Momenten

Die Betriebskosten sind in der Regel Null.

Andere Betriebs-, Zeit-, Kosteneigenschaften usw. werden durch die Struktur der Feder wesentlich beeinflusst, d.h. durch:

- Bauelemente und deren Anordnung / Organisation
- Formen
- Abmessungen
- Material
- Produktionsart
- Oberflächenzustand
- Differenz zu den Nennwerten im montierten Zustand.

7.1.4. Design und Bewertung

(zur Erreichung der gewünschten Eigenschaften und zur Vorhersage der erreichten Reflexions- und Reaktionseigenschaften.)

Aufgrund der relativ geringen Steifigkeit und des Gewichts der Federn gegenüber der hohen Steifigkeit und dem Gewicht benachbarter Maschinenteile sind die Frequenzen des Schwingensystems (einfach: $\Omega = \sqrt{k/m}$ [rad·s⁻¹]) im Allgemeinen deutlich niedriger als bei anderen gängigen Maschinenteilen. Daraus folgt, dass es bei der gemeinsamen niederfrequenten dynamischen Betriebslast notwendig ist, sich mit der Auslegung und Bewertung von Federn in Bezug auf die Dynamik zu befassen; die Auslegung und Bewertung kann nicht vereinfacht und als statische Last behandelt werden, die nur durch den Betrieb des (dynamischen) Koeffizienten c_{dyn} erhöht wird, wie bei anderen gemeinsamen Maschinenteilen.

In einigen Fällen ist es möglich, präzisere Verfahren anzuwenden als bei Wellenkupplungen. Aufgrund der höheren Variabilität der Federnutzung ist dies nur eine Ausnahme. Aus diesen Gründen werden von nun an nur noch die Angaben zur Auslegung und Bewertung von Federn unter statischer Belastung gemacht.

Die für die Auslegung und Bewertung von dynamisch beanspruchten Federn relevanten Informationen sind in der Fachliteratur zu suchen.

Notizen:

- Bei der Auslegung statisch belasteter Federn: Last(max), def(max) => Formen, Abmessungen, Material....
- Bei der Auslegung statisch belasteter Federn: Sicherheit, $\text{def(max)} \leq \text{Last(max)}$, Formen, Abmessungen, Material.....

8. Materialverbindungen - geschweißt, gelötet, geklebt Spoje svary (svarové spoje)

8.1. Schweißverbindungen

8.1.1. Merkmale (typische Konstruktionseigenschaften)

Starre, nicht demontierbare Verbindungen nach dem Prinzip des Schmelzens von Verbindungsteilen mit Wärme und / oder Druck, mit / ohne Verwendung von Füllstoffen.

8.1.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

HERSTELLUNGSVERFAHREN (SCHWEIßARTEN)

A) Schmelzen: Verbinden durch Schmelzen des Materials (der verbundenen Teile und / oder des Füllstoffs) unter Verwendung von Wärme, ohne Druck.

Typen (je nach Wärmeeintrag)

- Lichtbogen: zwischen Metall (Wechsel- oder Gleichstrom) oder Kohlenstoff (Gleichstrom) Elektrode und Ausgangsmaterial:
 - von Hand mit einer Metallelektrode
 - automatisch mit Schweißdraht und Pulver
 - automatisch mit Wolframelektrode unter modifizierter Atmosphäre
 - automatisch mit Kohleelektrode
- Flamme: Verbrennung von Gasen - Acetylen oder Propan-Butan und Sauerstoff

- Elektroschlacke: kein Lichtbogen. Wärmequelle ist der Strom, der durch leitfähige Schlacke und Heißdraht fließt.
 - Plasma: zwei Lichtbögen - basisches und trägererzeugendes Plasma
 - Elektronenstrahl: Metalle mit hohem Schmelzpunkt - W, Mo.....
 - Termite: Mischung aus Eisenoxid und Aluminiumpulver
 - Gießerei: Flüssigmetall - Gussteile Reparaturen

B) Druck: Verbindung durch Schmelzen des Materials (der verbundenen Teile und/oder des Zusatzmaterials) unter Verwendung von Wärme und Druck.

Typen (nach Methode)

- nach Widerstand: Schmelzen mit Niederspannung und intensivem elektrischen Strom
 - durch Kontakt: Schmelzen oder Stauchen (Abschmelzen, Stanzen)
 - durch Punkte: zwei Elektroden, meist wassergekühlt (Dünoblech).
 - durch Nähte: zwischen zwei Scheibenelektroden oder Scheibenelektrode und anderen Komponenten (in dichten Behältern).
 - durch Vorsprünge: Sie wird zwischen flache Elektroden gespannt (in der Massenproduktion, sonst eher kostspielig).
- durch Reibung (trocken): Schmelzen durch Reibung (bei rotierenden Teilen).
- Induktion: Schmelzen mit Induktionsstrom (zur Herstellung von Nahtrohren).
- ultraschall: schmelzen mit hochfrequenz
- Explosion: mit Sprengstoff, Funkenentladung, Magnetwelle.

Von nun an werden nur noch gängigere Schmelzschweißverbindungen (Verbindungen durch Schweißnähte) berücksichtigt.

ARTEN VON SCHWEIßVERBINDUNGEN

Typen nach Querschnittsform

Vergeben durch Standards: ČSN 05 0025 ÷ 05 0028 ÷ 05 0028
 ČSN 13 1075 (für Rohrleitungen)

VERBINDUNGS- UND FÜLLSTOFFE

A) Verbundenes Material

Grundregel:

Nur Material mit garantierter Schweißbarkeit verwenden (angegeben in Stahlqualitätsnormen (Materialdatenblätter) ČSN 41 0000 ÷ 41 9858).

Schweißbarkeitsgrade

zaručená (vždy)	1a	pouze $t > 0^{\circ} \text{C}$	i dynamicky namáhané svary
zaručená podmíněně	1b	za urč. podm. zaruč.	staticky namáhané svary
dobrá	2	nezaručuje, ale lze	podřadné svary
obtížná	3	nevyhovující svary	nedoporučuje se

Hinweise zu den einzelnen Materialarten:

- für Stahl im Allgemeinen: Lichtbogenschweißen $C \leq 0,2\%$, $P, S \leq 0,1\%$.
- Stahlklassen 10 -17: Sondertypen mit garantierter Schweißbarkeit (siehe Tabelle)
- gehärteter Stahl: schwer zu schweißen (muss vorgewärmt werden)
- Stahlguss (höher C): schwer zu schweißen (Rissbildung)
- Grauguss (höher C): schwer zu schweißen (vorgewärmt auf 650°C)
- Gusseisen (422530,35,40): gute Schweißbarkeit.
- Nichteisenmetalle: schwer zu schweißen (hohe Wärmeleitfähigkeit (Kupfer, Bronze, Messing) und niedrige Schmelztemperatur)

B) Füllstoff

Typen (nach Form und Modifikationen)

- beschichtete Elektroden: zum Lichtbogen-Handschweißen
 - nach der Art des geschweißten Materials
 - nach der Art der Beschichtung (alkalisch, sauer,.....)
 - durch den Durchmesser: (1,6 ÷ 8) und Länge: (200 ÷ 500)
- blanke Drähte: zum Schweißen ohne Luftzufuhr
 - (untergetaucht oder unter modifizierter Atmosphäre)
 - nach der Art des geschweißten Materials
 - durch den Durchmesser: (1,6 ÷ 5) in Metern
 - durch den Durchmesser: (5 ÷ 20)

8.1.3. Eigenschaften

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung aller Lastarten.
- Nicht demontierbar.
- Zuverlässigkeit beeinflusst durch die Anfälligkeit für Eigenspannungen und Kerbwirkungen

Produktion, Montage

- Schwierig in der Herstellung.
- die Möglichkeit, große Maschinen und deren Teile herzustellen (nicht möglich durch Gussteile und Schmiedeteile).

ZEITLICHE ASPEKTE

Prozessgeschwindigkeit

- Relativ schnelle Konstruktion und Fertigung.
- Bei komplexen Produkten ist eine Entzündung oder Alterung zur Beseitigung von Eigenspannungen erforderlich (kann auch durch Vibrationen erfolgen), was die Produktionszeit verlängert.

Prozessökonomie

- Bei der Stückfertigung ist es günstiger als Gussteile, Schmiedeteile usw. (Materialeinsparung, weniger Aufwand); die Notwendigkeit, die Eigenspannung bei komplexen Schweißkonstruktionen abzubauen, erhöht die Kosten.
- Keine Betriebskosten, wenn die Unmöglichkeit der Demontage kein Problem darstellt.
- Hohe Kosten für "Demontage" (Flammen, etc.).

8.2. Lötverbindungen

8.2.1. Merkmale (typische Konstruktionseigenschaften)

Feste (unbewegliche), nicht lösbare Verbindung von zwei (meist) Metallteilen durch Metall, das beim Verbindungsvorgang geschmolzen wird und mittels Diffusion an den verbundenen Teilen haftet, ohne diese zu schmelzen.

Lötverbindungen werden in verschiedenen Branchen (Feinmechanik, Goldschmiede, Sanitär, Konservenindustrie, Fahrzeugbau, etc.) eingesetzt.

8.2.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

PRODUKTIONSARTEN (FERTIGUNG)

Durch die Schmelztemperatur (immer niedriger als die Schmelztemperatur der verbundenen Teile)

- Löten (bis 450° C)
- Löten (über 450° C)

Vorbereitung der metallisch sauberen Oberfläche

- mechanisch (Schaben, Bürsten)
- per Ultraschall
- chemisch (mit Flussmittel)

Aufheizen auf die gewünschte Temperatur

- lokal (durch elektrisches Lot, Lötlampe, Brenner, elektrischen Widerstand, Hochfrequenz, etc.)
- insgesamt (in einem Ofen unter modifizierter Atmosphäre, im Vakuum unter Hochfrequenz, Eintauchen in Salzschnmelzen, unter Verwendung von geschmolzenem Lot)

VERBUNDWERKSTOFFE, LOTE, FLUSSMITTEL

A) Löten

Verbundene Materialien:

- Kupfer, Zink, Stahl, Blei und deren Legierungen (übliche Materialien)
- Grauguss, Aluminium, Glas, Metall-Keramik-Legierungen (speziell)

Lote: (ČSN 05 5612 ÷ 50)

- Zinn
- speziell

Fluss:

- Harz, Talg, Stearin, Kolophonium, Kolophonium
- Chloride (verursachen Korrosion)

B) Löten

Verbundene Materialien:

- Stahl, Grauguss
- Kupfer, Nickel und deren Legierungen

Lote:

- Messing (ČSN 05 5680 ÷ 86)
- Silber (ČSN 05 5660 ÷ 76)
- für Aluminium (ČSN 05 5700 ÷ 80)

Fluss: (ČSN 05 5700 ÷ 80)

- Borax, Borsäure
- Chloride, Soda, Kali, Kieselsäure

FORMEN VON LÖTVERBINDUNGEN

Grundtypen:

- Stumpfschweißen
- mit geneigter Oberfläche
- mit gebogenem Blech
- mit Überlappung
- mit Kontaktelement

8.2.3. Eigenschaften

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung aller kleinen Lastarten, besonders geeignet bei Scherspannungen.
- Löten, das insbesondere für die Verbindungen mit Dichtheitsanforderungen oder Leitfähigkeitsanforderungen bei nicht großer Dichtheit und in den Fällen verwendet wird, in denen das Material nicht auf hohe Temperaturen erwärmt werden kann.
- Löten bei Dichtheit, Zähigkeit, Ermüdungsbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit, höheren Temperaturen.
- können sie mit Wärme repariert werden.

Produktion, Montage

- hohe Designansprüche (Oberflächenreinigung, kleiner und gleichmäßiger Spalt, gleichmäßige Erwärmung auf die erforderliche Temperatur).
- Weitere Aspekte
- Entfettungsmittel und Flussmittel können ungeeignet sein (in Bezug auf Hygiene oder mögliche Allergien).
- unmögliche Wiederverwertung

ZEITMERKMALE

Prozessgeschwindigkeit

- Relativ schnelle Konstruktion und Fertigung

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Relativ günstig in der Produktion in kleinen Chargen.
- keine Betriebskosten, wenn die Unmöglichkeit, den Anschluss zu demontieren, kein Problem darstellt.
- Entsorgung von Loten.

8.3. Klebverbindungen

8.3.1. Merkmale (typische Konstruktionseigenschaften)

Feste (unbewegliche) Verbindungen mittels eines flüssigen Materials (Klebstoff), das an den verbundenen Teilen haftet (dünne Schicht von ca. 0,1 mm).

Klebverbindungen werden eingesetzt, wenn die herkömmlichen Verbindungsmethoden nicht geeignet oder möglich sind. Sie werden auch für Maschinenreparaturen eingesetzt.

8.3.2. Struktur (grundlegende Konstruktionsmerkmale)

FERTIGUNGSVERFAHREN

Nach Temperatur und Druck, die für die Verfestigung des Klebstoffs erforderlich sind:

- normale Temperatur - ca. 20° C
- höhere Temperatur 20° ÷ 200° C
- hohe Temperatur - ca. 200° C
- hohe Temperatur - ca. 200° C und Druck

Vorbereitung der sauberen Oberfläche:

- mechanisch
- chemisch
- Entfernen von Verunreinigungen, Fetten, Oxiden, etc.

VERBUNDENE MATERIALIEN UND KLEBSTOFFE

Verbundene Materialien

Typen:

- Metall: in der Luftfahrt oder im Maschinenbau zur Verbindung von Dosen, Containern, Rahmen, Rohrleitungen, Naben auf Wellen, etc.
- Nichtmetallisch: in allen Bereichen zur Verbindung von Holz, PVC, Keramikteilen, Duroplasten, Glas, etc.

Druh	teplota tuhnutí	tlak při tuhnutí	pevnost τ_{Pt} [MPa]
Polyester	norm.	ne	až 20
Polyvinylacetát	norm.– zvýš.	ne	až 30
Epoxid. pryskyřice	norm.– zvýš.	ne	až 30
Syntetický kaučuk	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolové pryskyřice	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolformaldehyd	zvýš.– vysoká	ano	až 30

Legende:

druh - Typ, teplota tuhnutí - Erstarrungspunkt (Temperatur), tlak při tuhnutí - Druck auf Erstarrung, pevnost - Festigkeit, Polyester - Polyester, polyvinylacetát - Polyvinylacetat, Epoxid. pryskyřice - Epoxidharze, syntetický kaučuk - Synthesekautschuk, fenolové pryskyřice - Phenolharze, fenolformaldehyd - Phenolformaldehyd, ne - nein, ano - ja, normální - normal, zvýšená - höher, vysoká - hoch

Auswahl durch:

- Art und Abmessungen der verbundenen Materialien.
- Verfahren (Ziehen, Scheren, Biegen) und Art (statisch, dynamisch) der Belastung.
- Betriebstemperatur und chemischer Einfluss der Umgebung.

Stumpfschweißen - nicht geeignet

- mit schräger Oberfläche - besser
- mit gebogenem Blech - geeignet
- mit Kontaktelement - geeignet
- mit angepasster Oberfläche - sehr gut, aber teuer

8.3.3. Eigenschaften

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Geeignet zur Übertragung relativ kleiner Lasten bei Scherbeanspruchung, wobei eine gleichmäßige

Lastverteilung (bei festen Verbindungsteilen) im Vergleich zu Niet- oder Schweißverbindungen gewährleistet ist.

- Geeignet für Verbindungen mit Dichtheitsanforderungen.
- Geeignet für Verbindungen mit Anforderungen an die elektrische Isolierung.
- Geeignet für Verbindungen, die eine Vibrations- und Geräuschdämpfung erfordern.
- nicht geeignet für normale und dynamische Belastungen.
- nicht für höhere Betriebstemperaturen geeignet.
- nicht geeignet in aggressiver Umgebung.
- sind wartungsfrei und können nicht demontiert werden.

Produktion, Montage

- Geeignet für den Anschluss von Materialien, die nicht erwärmt werden können.
- Geeignet für Verbindungsmaterialien, die nicht geschweißt werden können.
- geeignet für die Verbindung von dünnen Blechen, die nicht geschweißt oder genietet werden können.
- geeignet für die Verbindung von Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften.
- einfache Herstellung.
- Relativ komplizierte Vorbereitung (Reinigung von Oberflächen).

Anforderung der notwendigen technischen Hilfsmittel bei der Wärme- und Druckverklebung.

Weitere Aspekte

- Entfettungsanlagen können in Bezug auf Umweltfreundlichkeit und Hygiene schädlich sein.
- Recycling fast unmöglich.

ZEITMERKMALE

Geschwindigkeit der Prozesse

- Schneller Entwurf.
- Der einfache Aufbau ermöglicht eine schnelle Verbindung der Teile.
- Die Erstarrungszeit kann die Produktionszeit (von Sekunden auf Stunden) verlängern.

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Einfaches Design reduziert die Arbeits- und Materialkosten.
- Mögliche technische Spezialwerkzeuge zur Wärmebehandlung verursachen zusätzliche Kosten.
- keine Betriebskosten, wenn die Unmöglichkeit, den Anschluss zu demontieren, kein Problem darstellt.

9. Dynamische (variable) Belastung und Beanspruchung von Maschinenteilen TS dynamische (Ermüdungs) Festigkeiten

Základní poznatky

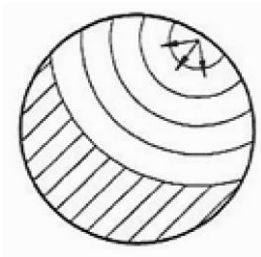
9.1. Grundlegende Informationen

Manifestationen der dynamischen (variablen) Belastung der Festigkeit von Maschinenteilen:

- Ausfälle unter Stress $\sigma \ll \sigma_D$
- spröde Brüche von Teilen auch bei zähen Materialien

Beispiel für einen typischen Bruch eines Maschinenteils (Welle, Drehpunkt, etc.) durch Ermüdung

(der obere Teil des Abschnitts zeigt einen geglätteten Anfangsbereich der durch Materialermüdung verursachten Störung, der untere schattierte Teil zeigt den letzten klassischen körnigen statischen Bruch.



Dynamische Belastung und Stress wird verursacht durch:

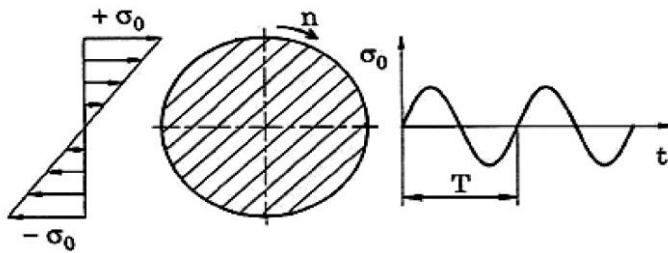
a) Änderungen der äußeren Last:

Beispiel: $M_0 = M_{0max} \sin(\omega t), n=0$

b) Änderungen in der Position des Teils bis zur konstanten (nicht variablen) Belastung:

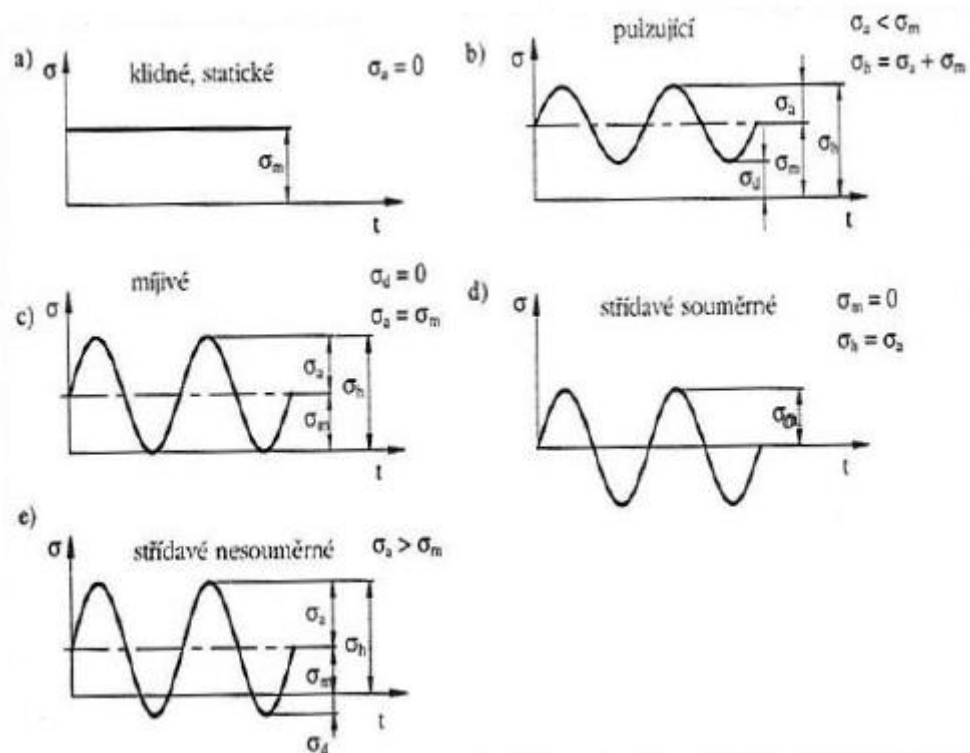
Beispiel: $M_0 = M_{0max} \cdot n, n \neq 0$

Dynamische Belastung durch Rotation des Teils zu externer statischer (konstanter) Belastung



Kurse für variable Belastung und Stress:

- allgemeiner Kurs:
 - stochastisch
 - periodisch = periodisch
- harmonischer Verlauf:
 - Sinus/Cosinus mit einer oder mehreren harmonischen Komponenten (üblich auch als Ersatz für den allgemeinen periodischen Verlauf bei Berechnungen und Experimenten).



Legende:

klidné - still, statické - static, pulzující - pulsierend, mívivé - flüchtig, střídavé souměrné - abwechselnd regelmäßig, střídavé nesouměrné - abwechselnd unregelmäßig

Typische Arten von Oberschwingungsspannungen - Kurvendiagramme

wobei:

m - Mittelspannung der Schwingung,

a - Mittelspannung der Schwingung,

h - Schwingungsoberspannung,

d - Niederspannung der Schwingung

Lebensdauer (Haltbarkeit) von Maschinenteilen bei harmonischer Belastung:

Die Lebensdauer (Haltbarkeit) eines Bauteils ergibt sich aus der Anzahl der Schwingungen, bei denen ein Ermüdungsbruch auftritt.

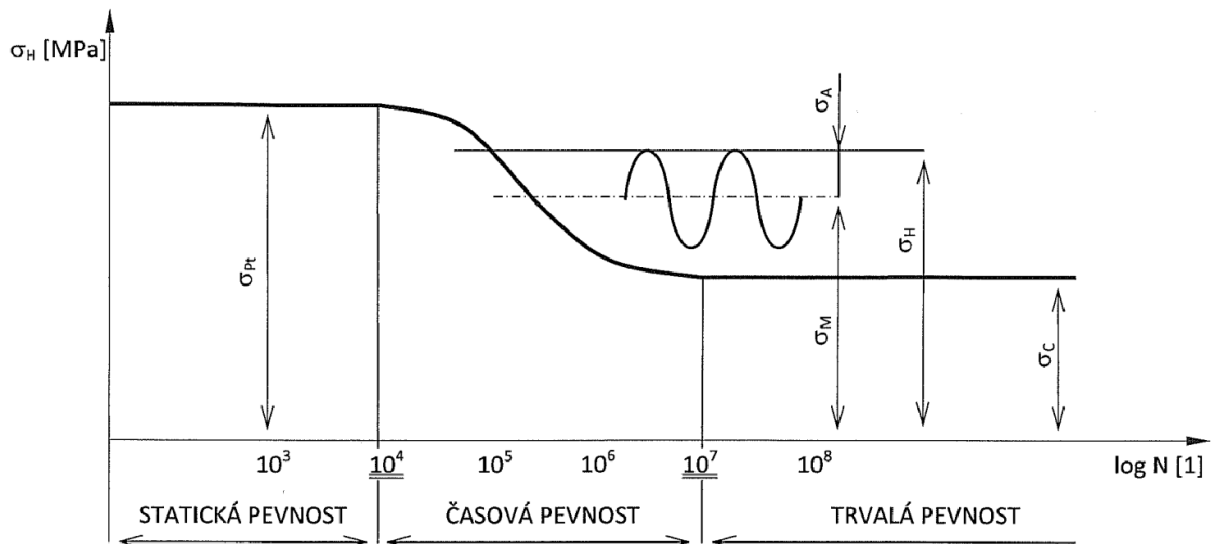
9.2. Materialermüdungsgrenze

Ermüdungszeitbegrenzung (Zeitbegrenzung für die Ermüdung eines gemeinsamen Maschinenteils):

$\sigma_N = \sigma_M + \sigma_A N$... oszillierende Spannung ($\sigma_{M,A}$), bei der die Lebensdauer bei gegebener Lagerung des Maschinenteils N Zyklen beträgt.

Ermüdungsgrenze ("permanente" Ermüdung für ein gemeinsames Maschinenteil):

$\sigma_C = \sigma_M + \sigma_A N$... pulsierende harmonische Spannung, ($\sigma_M \neq 0$, $\sigma_A \neq 0$, tj. $\sigma_H = \sigma_M + \sigma_A$)
Lebensdauer des gegebenen Maschinenteils $N = \sigma$ Zyklen ist.



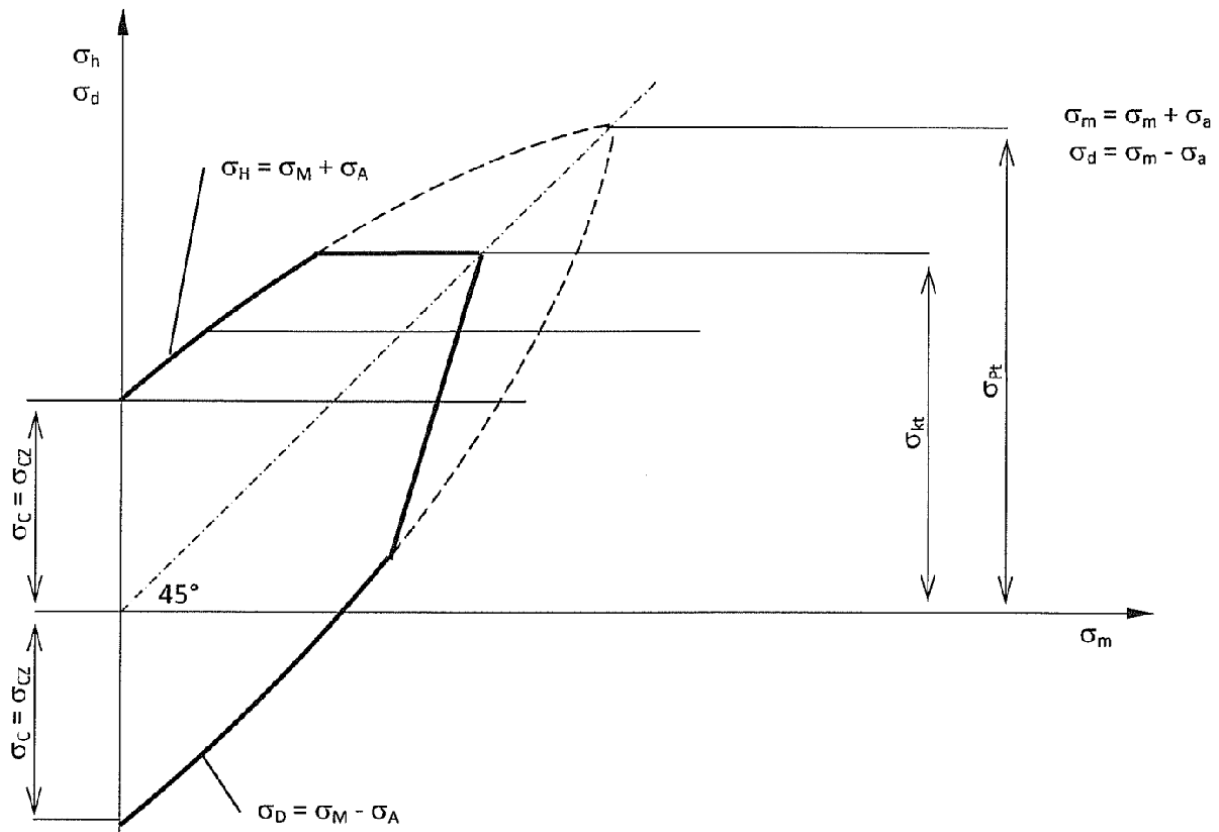
Legende:

statická pevnost - statische Festigkeit, časová pevnost - Zeitfestigkeit, trvalá pevnost - Langzeitfestigkeit

9.3. Materialermüdungsgrenze bei gemeinsam harmonisch wechselnder Spannung

Grundlegendes Smith-Diagramm:

Das Smith-Diagramm definiert die Grenzwerte der harmonischen Spannung, d.h. die Mittel- und Grenzspannung der Schwingung und die Grenzspannung der Schwingungsamplitude, bei der die Ermüdungsbrüche eines glatten polierten Stabes (im Allgemeinen ein bestimmter Punkt auf einem gemeinsamen Maschinenteil) auftreten. Das Diagramm muss für jede Materialart (und jeden Punkt auf einem Maschinenteil) separat experimentell bestimmt werden.



9.4. Faktoren, die die Materialermüdung beeinflussen

$\sigma_C = \sigma_{CZ}$ (grundlegende) Ermüdungsgrenze für glatte polierte Stangen
 $\sigma_{C^*} = \sigma_{CZ^*}$ niedrigere (grundlegende) Ermüdungsgrenze für einen Punkt auf einem Bauteil, d.h. nicht für ein Bauteil als Ganzes) aufgrund der folgenden Faktoren

9.4.1. Kerbwirkung - Kerbwert β

Kerben sind plötzliche Formänderungen an Bauteilen, die eine lokale Erhöhung (Konzentration) einer "richtigen" Last an dem gegebenen Punkt verursachen:

- Kraftabbau
- Reduzierung der Materialzähigkeit

9.4.2. Bauteilgrößeneffekt - Koeffizient der Bauteilgröße ν

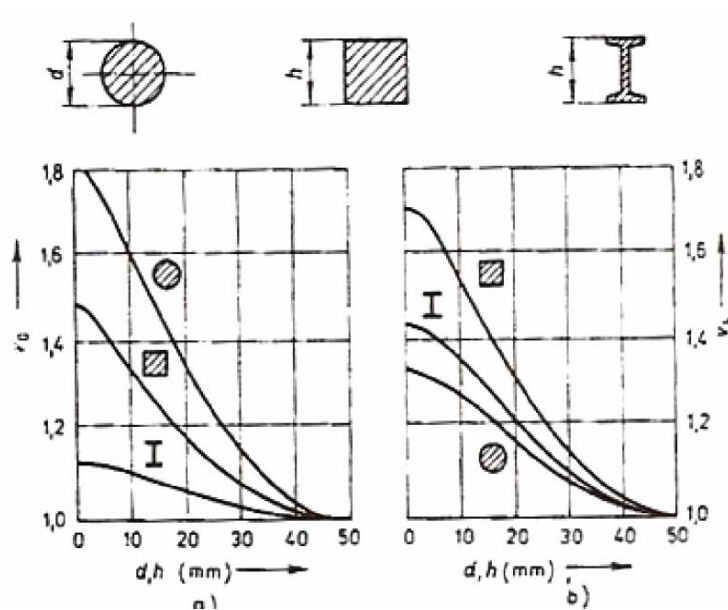
Für grundlegende Arten von Stress:

$\sigma C^* = \nu \cdot \sigma C$... für Zug - Druck - Zug - Druck

$\sigma C o^* = \nu \cdot \sigma C o$... zum Biegen

$\tau C k^* = \nu k \cdot \tau C k$... für Torsionen

Beispiele für Diagramme zur Bestimmung des Koeffizientenwertes der Größenkomponenten ν ,



9.4.3. Oberflächeneffekt - Oberflächengütekoeffizient η_P

$\sigma C^* = \eta_P \cdot \sigma C$... für Zug - Druck - Zug - Druck

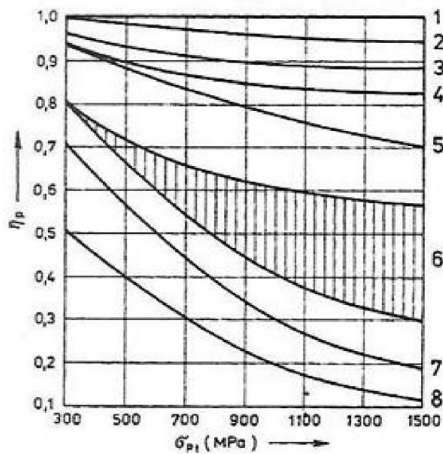
$\sigma C o^* = \eta_{Po} \cdot \sigma C o$... zum Biegen

$\tau C k^* = \eta_{Pk} \cdot \tau C k$... für Torsionen

$\eta_{Po} = \eta_P$

$\eta_{Pk} = 0,5 \cdot (1 + \eta_P)$

Diagramm zur Bestimmung des Koeffizientenwertes der Oberflächengüte η_P



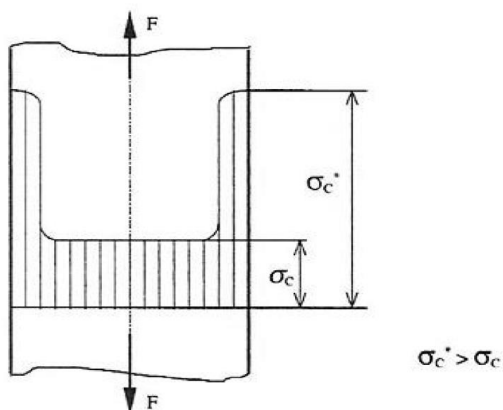
9.4.4. Einfluss der Oberflächenhärtung - Festigungskoeffizient der Oberflächenhärtung k

$\sigma_{C*} = k \cdot \sigma_C$... für Zug - Druck - Zug - Druck

$\sigma_{Co*} = k_o \cdot \sigma_{Co}$... zum Biegen

$\tau_{Ck*} = k_k \cdot \tau_{Ck}$... für Torsionen

Vliv zpevnění povrchu součásti na zvýšení meze únavy při jejím povrchu (kritickém pro únavové poruchy)



Die Werte des Koeffizienten k für die einzelnen Spannungsarten und typischen Verfestigungsarten sind in der Fachliteratur zu suchen. Für einen Großteil der nicht gehärteten Oberflächen gilt das Gleiche:

$$k = k_o = k_k = 1$$

10. Wellen

Die Welle ist eine Maschinenkomponente mit zylindrischer Form, die zur Übertragung von Drehbewegungen und mechanischen Arbeiten verwendet wird. An Wellen, Zahnrädern, Kettenrädern, Riemenscheiben, Rollen, Kupplungen, Anschlagbremsen und anderen rotierenden und nicht rotierenden Teilen, wie beispielsweise Nocken. Wellen können durch die Funktion und Spannung in zwei Gruppen eingeteilt werden: Achsen und Getriebewellen.

Achsen (Maschinenwellen)

Achsen (Maschinenwellen) übertragen kein Drehmoment (Leistung). Sie werden nur durch Biegen belastet. Achsen tragen Zahnräder, Riemenscheiben, Rollen und andere rotierende Maschinenteile, die entweder drehbar oder fest darauf montiert sind. Typische Beispiele für Maschinenwellen sind Achsen von Eisenbahnmaschinen.

Getriebewellen

Getriebewellen werden auch als Antriebswellen bezeichnet. Sie werden häufiger eingesetzt als die Maschinenwellen. Sie werden hauptsächlich durch das Drehmoment belastet, das sie vom Antriebs- zum Arbeitspunkt übertragen. Im Gegensatz zu den Maschinenwellen werden Getriebewellen durch Torsion in Kombination mit Biegung belastet. Die Wellen sind in Lagern gelagert. Ein typisches Beispiel für Getriebewellen ist die Welle in Getrieben, d.h. alle Wellen, die angetrieben werden.

10.1. Arten von Antriebswellen

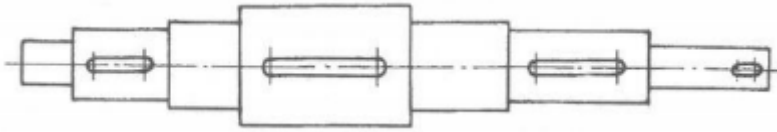
Nach Form und Verwendungsmethode:

- Normal
- Hohl
- Geschlitzt
- Kurbelwellen
- Biessame Wellen

Normale Getriebewelle

Es wird durch Drehen hergestellt, da die Wellenspannung über seine Länge und seinen Durchmesser variiert. Die Spannung ist an den Enden der Welle am geringsten, daher ist ihr Durchmesser am kleinsten. Änderungen des Wellendurchmessers führen zu verschiedenen Anschlüssen, die die Montage der rotierenden Teile auf der Welle erleich-

tern.



Hohle Antriebswelle

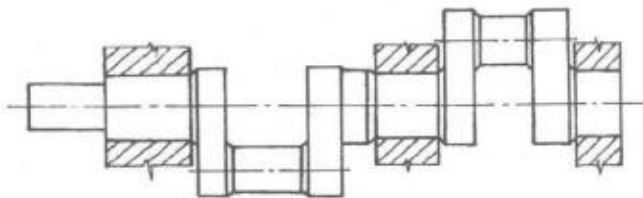
Sie nutzt das Material wesentlich wirtschaftlicher. Er kann mehr Last übertragen als eine volle Welle bei gleichem Gewicht. Dies liegt daran, dass bei Torsion und Biegung die Wellenmitte wesentlich weniger belastet wird als ihr Außenteil.

Geschlitzte Antriebswelle

Sie hat Längsnuten auf ihrer Länge und produziert mehrere Federn. Die geschlitzte Welle hat somit die gleiche Funktion wie die Passfeder. Es wird dort eingesetzt, wo wir die axiale Verschiebung von rotierenden Teilen auf (meist) Zahnrädern auf der Welle sicherstellen müssen.

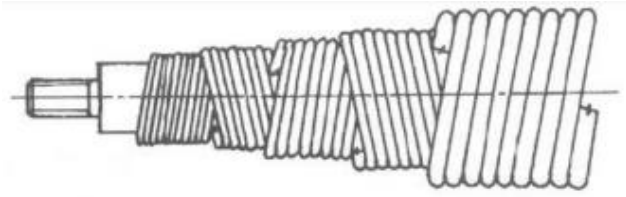
Kurbelwelle

Es ist Teil eines Kurbelmechanismus, der die direkte Hin- und Herbewegung in eine Drehung umwandelt und umgekehrt. Kurbelwellen werden aus Schmiederohlingen hergestellt und anschließend von Werkzeugmaschinen bearbeitet.

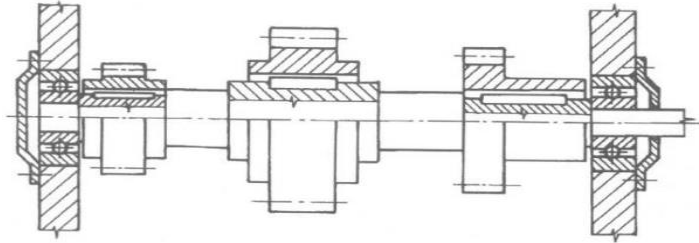


Biegsame Welle

Sie wird dort eingesetzt, wo es notwendig ist, die Position der Antriebswelle zur Abtriebswelle während der Drehung zu ändern. Um die notwendige Flexibilität zu gewährleisten, wird der Schaft aus Draht in mehreren Schichten gefertigt. Die einzelnen Schichten sind gegenläufig gewickelt, so dass der Schaft nicht zum Abwickeln neigt. Z.B. Hand-schleifmaschine.



Platzierung von Getriebewellen



Beispiel für die Anordnung der Getriebewelle auf zwei Wälzlagern

11. Gleitlager

11.1. Merkmal (typische Konstruktionseigenschaften)

Rotierende Lager nach dem Prinzip des Oberflächenkontaktes mit Gleitreibung (unterschiedlicher Art).

Notizen:

- Arten der Gleitreibung (durch die Schmierintensität):
 - Haftreibung: ohne Schmierung oder mit Festschmierstoff (Graphit, etc.), die Reibungsflächen stehen in vollem Kontakt.
 - Begrenzung der Reibung: bei unzureichender Schmierschicht stehen die Reibungsflächen teilweise in Kontakt.
 - Flüssigkeitsreibung: Eine ausreichende Schicht Schmiermittel (Flüssigkeit, Gas oder Plastikfett), Reibflächen berühren sich nicht
- Der damit verbundene Effekt ist der Verschleißzustand der Gleitflächen in Abhängigkeit von der Intensität der Schmierung.

11.2. Lager mit hydrodynamischen Lagern

11.2.1. Merkmale (typische Konstruktionseigenschaften)

Gleitlager, bei denen die Schmierstoffschicht (sog. hydrodynamischer Keil) durch die Relativbewegung der Gleitflächen erzeugt wird (Keilspalt). Daher ist die so genannte Grenzreibung mit dem Beginn oder Ende der Bewegung unter Haftreibung während der Beschleunigung und Verzögerung.

FORMEN, ABMESSUNGEN, OBERFLÄCHENRAUHIGKEIT UND TOLERANZ

A) Gleitflächen

Geometrische Form

- Sie wird durch Bearbeitung (Bohren, Drehen, Schleifen) ohne zusätzliches Kratzen erreicht (Beeinträchtigung der geometrischen Form).
- Bei höheren Parametern: Es wird eine geometrische Formgenauigkeit vorgeschrieben.
- Oberflächenrauigkeit Betriebsbedingungen - Rauheit Ra: des Lagerzapfens[μm]
 - hohe Parameter 0,2 0,4
 - mittlere Parameter 0,4 0,8
 - niedrige Parameter 0,8 1,6

Toleranz

- Genauigkeit bei Radialgleitlagern IT5 ÷ IT7

B) Schmierstoffeinlass

Formen und Abmessungen:

- Schmierbohrungen, Schlitze, Taschen nach ČSN 01 5906 (immer flach mit abgerundeten Formen)
- Position der Schmiernuten an Radiallagern:
- In einem unbelasteten Bereich (senkrecht zur Bewegungsrichtung, nie zu den Kanten)

C) Lagergehäuse und Lagergehäuse (Radiallagerkomponenten)

Notizen:

- Gehäuse: Gleitlagereinsatz in Form eines Hohlzylinders.
- Fall: ein Teil der geteilten Hülse oder die gesamte, aber geteilte Hülse.

11.2.2. Gehäusetypen und Gehäuse:

- durch die Dicke der Hülse / des Gehäuses, den Durchmesser des Stiftes d:
 - dünnwandig: Dicke s (0,02 ÷ 0,1)-d
 - (es wird bearbeitet: fertig vor der Montage - die Genauigkeit hängt von der Genauigkeit der Bohrung im Lagergehäuse ab)
 - dickwandig: Dicke s (0,1 ÷ 0,2)-d

- (bearbeitet: fertig wie die dünnwandige, mit zusätzlicher Bearbeitung)
- **um die Anzahl der Schichten:**
 - einschichtig ("massiv"): aus Lagermaterialien, nur ausnahmsweise (ist teuer)
 - zweischichtig ("bimetallisch"): mit Auskleidung, aus Lagermaterialien (Dicke 0,2 mm), Lebensdauer des Lagers steigt mit abnehmender Dicke der Auskleidung.
 - dreischichtig: mit zusätzlicher galvanischer Beschichtung aus einer weichen Zusammensetzung (Pb - Sn, etc.), die die Verwendung von nicht gehärteten Stiften ermöglicht.

Position von Gehäusen und Gehäusen (im Lagerkörper)

Mit einer Überlappung, die eine zuverlässige Übertragung eines Reibmoments im Lager gewährleistet, werden nur verwendet, um die richtige Position während der Montage zu gewährleisten.)

Übliche Position: H7/p6, H7/r6, H7/s6 (bei dünnwandigen Werkstoffen ist dies durch die Messung am Umfang gegeben).

11.2.3. Arten von Lagermaterialien

Materialklasse $\rho \cdot v$ [MPa · m · s⁻¹]

- Legierungen von Zinn und Blei (Verbindung) 20 ÷ 100
- Kupferlegierungen mit Zinn, Blei usw. (Bronze) 20 ÷ 100
- Aluminiumlegierungen 20 ÷ 100
- andere Metalle (Grauguss, poröse Metalle) 10
- Kunststoffe 10 ÷ 30
- andere nichtmetallische Werkstoffe (Graphit, Gummi, Holz)

Auswahl des Lagermaterials

Die Wahl des Lagermaterials sowie der Konstruktions- und Schmiereigenschaften ist ein Schlüsselfaktor für die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Lager.

Hauptkriterien:

- **Außenlagereigenschaften (erforderlich):**

- Art und Größe der Last, Gleitgeschwindigkeit, Lebensdauer
- Betriebstemperatur, Art des Schmierstoffs, Umgebung
- Preis
- **Eigenschaften der Lagerkonstruktion (empfohlen):**
 - Art und Härte des Stiftmaterials (mindestens 100 HB höher als die Härte des Lagermaterials)
 - Rauheit der Gleitflächen (nach obiger Empfehlung)
 - Art und Menge des Schmierstoffs (ausreichende Menge an Qualitätsschmierstoff (ohne Verunreinigungen) - außer bei öligen und öllosen Lagern)
- **Gleitende, mechanische und physikalische Eigenschaften von Lagermaterialien (optional):**
 - Abriebfestigkeit (Kompatibilität mit dem Stiftmaterial), Anpassungsfähigkeit der harten Partikel und Aufnahmefähigkeit, Reibungskoeffizient.
 - Last (gekennzeichnet durch Koeffizient p - v), Dauerfestigkeit,
 - Korrosionsbeständigkeit, Abriebfestigkeit, Härte,

11.2.4. Eigenschaften

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Erfassung von radialen oder axialen Verschiebungen und Kräften; beide Funktionen können jedoch durch eine ordnungsgemäße Konstruktion innerhalb einer Einheit gewährleistet werden (siehe oben).
- Geeignet für Stoß- und dynamische Belastung (hohe Dämpfung)
- Sehr leiser und ruhiger Betrieb ohne Vibrationen
- Das Spiel in den Lagern ("Float") kann ein Fehler sein.
- Besonders geeignet für den Dauerbetrieb (zu Beginn und am Ende der Bewegung gibt es keine hydrodynamische Schmierschicht - Haft- und Gleitreibung mit hohem Verschleiß, kann durch Druckschmierung verbessert werden x ist teurer).
- breiter als bei Wälzlagern
- kleinerer Außendurchmesser als bei Wälzlagern
- Die einfache Demontage ist durch den Aufbau des Lagers gegeben.
- höhere Anforderungen an Wartung und Reinheit (Schmierung und Ölreinheit)

Produktion, Montage

- Hohe Anforderungen an die Präzision der Fertigung und die Sauberkeit der Umgebung
- Die einfache Montage wird durch die Struktur des tragenden Teils beeinflusst.

ZEITMERKMALE

Prozessgeschwindigkeit

- zeitaufwändige Konstruktion, Fertigung, Wartung, Reparatur, etc.

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Relativ aufwendige Konstruktion und Fertigung
- Relativ kostspieliger Betrieb, Wartung und Reparatur

12. Kugellager

12.1. Merkmale (typische Konstruktionseigenschaften)

Drehlager nach dem Prinzip des Wälzkontakts mit der Rollreibung, in der Regel unter Verwendung von separat hergestellten Komponenten - Wälzlagern.

FORMEN (TYPEN) VON KUGELLAGERN (ČSN 02 4629)

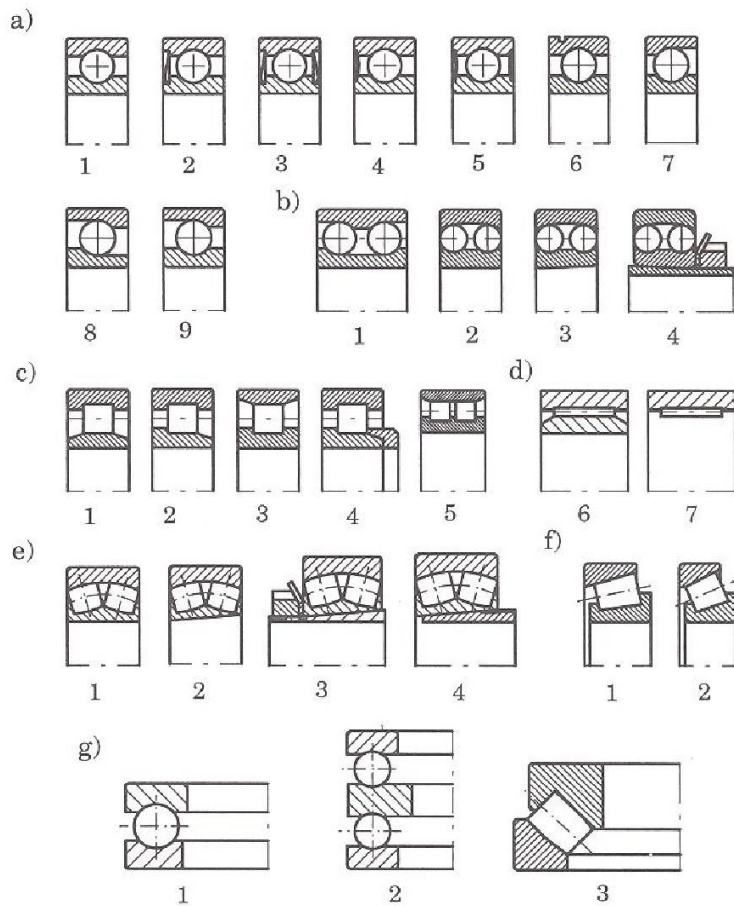
Durch die Richtung der erfassten Kräfte (und Bewegungen)

- radial (Außen- und Innenring, Käfig, Rollkörper)
- axial (Ringe, Käfig, Rollkörper)

Nach Struktur (Grundlage ist die Form des Rollkörpers)

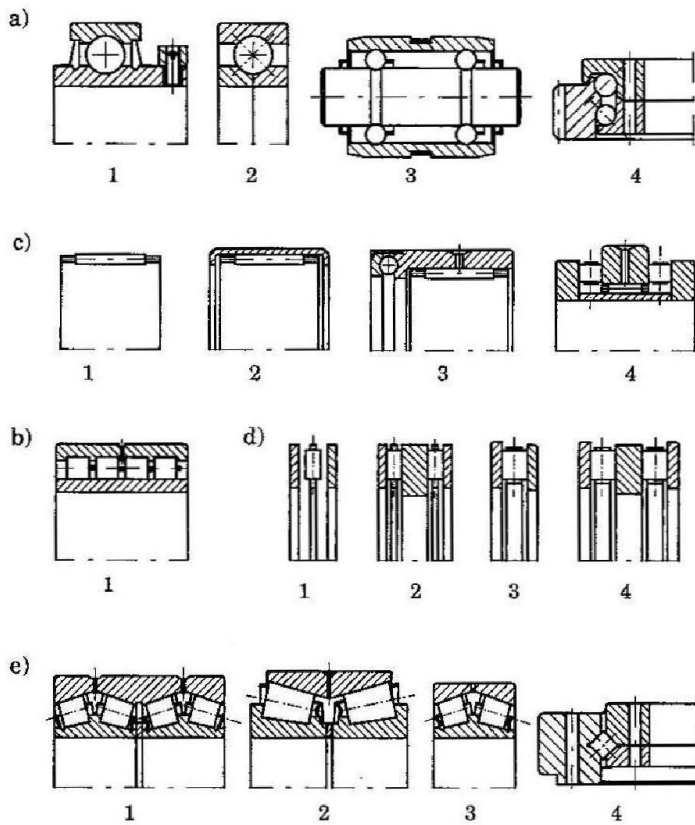
A) Standardlager

- Einreihige Kugellager a)
 - rein radial 1 ÷ 6
 - mit Winkelkontakt 7 ÷ 9
- Zweireihige Kugellager b)
 - mit Winkelkontakt 1
 - Kippen 2 ÷ 4
- Wälzlager c)
 - Jednořadá (NU, NJ, N) 1 ÷ 4
 - zweireihig (NN mit konischer Bohrung) 5
- Nadellager d)
 - einreihig (NU, NJ, N) 1 ÷ 4
 - zweireihig (NN mit konischer Bohrung) 5 2
- Zweireihige kugelförmige e) 1 ÷ 4
- Rolle f)1 ÷ 2
- Axial g)
 - Kugel einseitig gerichtet 1
 - Kugel bidirektional 2
 - Rolle 3



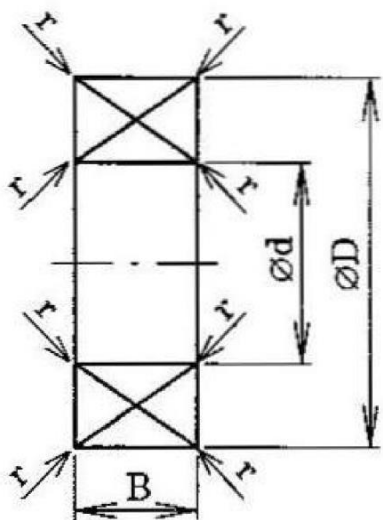
B) Sonderlager

- Kugellager a)
 - mit einem Vierpunktkontakt 2
- Rolle b)
 - mehrreihig 1
- Nadel c)
 - Käfig mit Nadeln 1
 - Gehäuse mit Nadeln 2
- Axial d)
 - Nadel 1 und 2
 - Rolle 3 und 4
- Verjüngt e)
 - ehrrreihig 1, 2, 3
 - Kreuz 4



12.1.1. Abmessungen der Wälzlager (ČSN 02 4629)

Grundabmessungen:



$\varnothing d$ Innendurchmesser
 $\varnothing D$ Außendurchmesser
 B Breite
 r Radius der Rundung

Maßreihe

Einzelne Lagertypen in Maßreihen: $d \Rightarrow D, B, \dots \Rightarrow$

Notizen:

- für d : $20 \div 480$ mm:
 $d = (\text{die letzten beiden Ziffern in der Kennzeichnung nach ČSN}) \times 5 \text{ Stück}$
z.B: $6220 \Rightarrow d = 20 \times 5 = 100 \text{ mm}$

MAßHALTIGKEIT UND LAUFGENAUIGKEIT DER KUGELLAGER (ČSN 02 4612) (ČSN ISO 492)

Toleranz:

- Abmessungen
- beim Drehen zu werfen:
 - radial für Radiallager
 - axial für Axiallager

POSITION DER KUGELLAGER

Wichtig für die Lebensdauer der Kugellager.

Faktoren, die die Wahl der Position beeinflussen:

- Größe und Art der Ladung
- Material und Zähigkeit der Teile
- Wärmebedingungen in Lagern
- Dilatation von Komponenten
- Präzisionsanforderungen
- Anforderungen an die Montage und Demontage

Regeln und empfohlene Montage:

- Der in Belastungsrichtung rotierende Ring (Umfangsbelastung) muss fixiert werden (gegen Verrollen):
 - $(j7, k7)/j6, k6, k6$
 - (Außenringloch - häufiger / Stift für Innenring - häufiger)

- Ring, der sich nicht in Lastrichtung dreht, kann frei montiert werden / mit Spiel (Punktlast)
- $H7, H8 (G7)/(h6, g6)$
- (Außenringloch - häufiger, Stift für Innenring)

12.2. Material der Kugellager

Ringe und Walzkörper

Hohe Anforderungen (lokale Wechsellastspannung); daher gibt es neben hoher statischer Festigkeit und genauer Zusammensetzung auch hohe Homogenitätsanforderungen. In der Regel: Chromstahl Klasse 14, vergütet auf min. Härte 59 HRC

Käfige

Normalerweise aus Stahlblech gepresst.
Qualitätslager haben Käfige aus Messing oder Keramik.

12.3. Eigenschaften

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Erfassung von radialen und axialen Verschiebungen und Kräften durch die Art der Lager und deren Montage an / in beiden Teilen der Maschine (meist auf der Welle und im Fall) bei hohen Drehzahlen und Temperaturen.
- Nicht geeignet für Stoßbelastungen.
- Das Spiel im Lager kann ein Defekt sein.
- geringe Verluste, Effizienz η 0,98.
- geringe Längsabmessungen im Vergleich zu anderen Lagertypen.
- größere Durchmesser im Vergleich zu anderen Lagertypen.
- Die Einfachheit oder Komplexität des Lagerwechsels wird durch die Struktur des tragenden und montierten Teils beeinflusst; meist einfach.
- Geringer Wartungsaufwand (Schmierung durch Fett oder Öl für die Verzahnungsschmierung).

Produktion, Montage

- Die Fertigung erfordert Präzision, Lager werden gekauft.

- Die Einfachheit oder Komplexität der Montage wird durch die Struktur des tragenden und montierten Teils beeinflusst; meist einfach.

ZEITMERKMALE

Prozessgeschwindigkeit

- Relativ schnelles Design, Produktion (und Einkauf), Montage und Demontage.

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Bei entsprechendem Design ist die Fertigung relativ günstig (bei Massenproduktion deutlich günstiger).
- Niedrige Betriebskosten (Schmierstoffe).
- Geringe Demontagekosten.

13. Wellenkupplungen

13.1. Merkmale (typische Konstruktionseigenschaften)

Maschinenteile, die die Übertragung von Drehmoment und Bewegung zwischen zwei benachbarten rotierenden Teilen einer technischen Ausrüstung (System) mit ihren Achsen ermöglichen:

- parallel
- leicht konkurrierend
- leicht schräg

Diese Funktion wird oft mit anderen Funktionen kombiniert (die in der Regel die Hauptfunktionen sind):

- zur Reduzierung des übertragenen Drehmoments
- zur Dämpfung von Torsionsschwingungen
- um die Herstellung großer Teile zu ermöglichen.
- um die Montage und Demontage zu ermöglichen.
- um Positionsänderungen der verbundenen Teile zu vermeiden (aufgrund von geometrischen Ungenauigkeiten, Verformbarkeit, Wärmeausdehnung, etc.).

Basierend auf dem Prinzip und Verfahren zur Übertragung von Drehmoment und Drehung (d.h. durch Funktion / Arbeitsprinzip und Verfahren) kann die Kupplung unterteilt werden in:

E) Mechanische Kupplungen

- **nicht getrennt (im Betrieb fest verbunden):**
 - (unflexibel) starr (Rohr, Wanne, Flansch/Scheibe, mit Stirnrad)
 - (unflexible) Nivellierung (Rohr, Stift, verzahnt, mit Kreuzscheibe, mit Gelenken, verzahnt)
 - flexibel (Scheibe, mit integrierten flexiblen Körpern, mit eingesetzten flexiblen Körpern, Ring und Scheibe, mit Metallfedern, Membran)
- **gesteuert (mechanisch, hydraulisch, pneumatisch, elektromagnetisch) mit Änderungen der Verbindung, gesteuert von der Kupplungsumgebung aus:**
 - gezahnt (vorne, zylindrisch)
 - Reibung (Scheibe, Schaufeln)

- **automatisch / halbautomatisch, mit Änderungen in der Verbindung, die vollständig / teilweise von der Kupplung gesteuert werden.**
 - versichernd (destruktiv, rutschend)
 - Start (Pulver, Segment)
 - Leerlauf (Axialprinzip, Radialprinzip)

F) Hydraulische Kupplungen:

- **hydrodynamisch**
 - mit geschlossenem Ring (unkontrolliert, selbstkontrollierend, kontrolliert)
 - mit offenem Ring
- **hydrostatisch**

G) Elektrické spojky:

- **asynchron**
 - mit Wirbelarmatur
 - mit Käfiganker
- **synchron**
 - mit Widerwillen Anker
 - mit aufgeregten Anker

Magnetkupplungen

Notizen:

- Die Klassifizierung ist in ČSN 02 6400 eingebettet, bei mechanischen Kupplungen wird eine geeignetere Funktionsstruktur und Kennzeichnung verwendet.

Durch die Sicherstellung von Unterfunktionen bestehen Kupplungen aus den folgenden Teilen:

- **Antriebsteil** (verbunden mit dem Antriebsteil des technischen Systems)
- **Antriebsteil** (Verbindung mit dem Antriebsteil des technischen Systems)
- **Verbindungsteil** (Verbindung zwischen den beiden Antriebsteilen der Kupplung)

Wenn die Kupplung "symmetrisch" ist (in Bezug auf Abmessungen, Gewicht, Funktion), wird die Aufteilung der Welle in verschiedene Antriebsteile nur durch die gewählte Ausrichtung im technischen System bestimmt. Bei vielen Arten von "nicht-mechanischen" Kupplungen ist jedoch die richtige Unterscheidung zwischen dem antreibenden und dem angetriebenen Teil der Kupplung (zum antreibenden und angetriebenen Teil des technischen Systems) eine notwendige Voraussetzung für die Sicherstellung ihrer

ordnungsgemäßen Funktion).

Notizen:

- Aufgrund ihrer einfachen Klassifizierung werden Kupplungen meist als Komponenten entworfen, hergestellt und geliefert. Dies gilt für alle Arten von mechanischen, "nicht-mechanischen" (= elektromagnetisch, hydraulisch und pneumatisch) gesteuerten Kupplungen und teilweise auch für in Sonderfällen verwendete hydraulische, elektrische und magnetische Kupplungen.
- Informationen zur Verwendung von Serienkupplungen sind im Katalog der Hersteller oder in der Fachliteratur zu finden. Von nun an werden nur noch gängige mechanische Kupplungen berücksichtigt, wobei der Schwerpunkt auf den individuell konstruierten und gefertigten Typen liegt.

13.2. Feste (starre) Kupplungen

13.2.1. Merkmale (typische Konstruktions-eigenschaften)

Kupplungen nach dem Prinzip der festen Verbindungen, die alle Relativbewegungen der verbundenen rotierenden Teile (meist Wellen) verhindern.

13.2.2. Eigenschaften von gängigen Kupplungen

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung auch von periodisch wechselnden Drehmomenten
- Möglichkeit der Übertragung von Biegemomenten
- Im Betrieb kann die Nicht-Ausrichtung der verbundenen Teile zusätzliche Lasten erzeugen, die zu
- Kupplungsschäden führen können.

Produktion, Montage

- Relativ einfache Produktion
- Die Montage ist relativ komplex, eine genaue Ausrichtung des verbundenen Teils ist immer erforderlich; einige Typen erfordern auch die Möglichkeit der axialen Verschiebung von (mindestens einem) verbundenen Teilen.

ZEITMERKMALE

Prozessgeschwindigkeit

- Schnelle Konstruktion und Produktion (Einkauf)
- Der Auf- und Abbau kann langsam erfolgen (zeitaufwendig, kompliziert).

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Relativ günstig
- Keine Betriebskosten

13.3. Nivellierung (starres Kippen)

13.3.1. Merkmale (typische Konstruktionseigenschaften)

Kupplungen nach dem Prinzip von (starren) kinematischen Paaren, die eine Änderung der relativen Position der verbundenen Teile ermöglichen.

13.3.2. Eigenschaften von gängigen Kupplungen

GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Betrieb, Wartung, Instandhaltung, Reparaturen

- Übertragung des Drehmoments beim Ermöglichen der axialen, radialen, winkli-

gen oder kombinierten Abweichung der Achsen von verbundenen rotierenden Teilen.

- Erfordert in der Regel eine Schmierung.
- Produktion, Montage
- Die Einfachheit oder Komplexität der Produktion hängt von der Art der Verbindung ab.
- Normalerweise relativ einfache Montage

ZEITMERKMALE

Prozessgeschwindigkeit

- es hängt von der Art der Kupplung ab; in der Regel schnelle Montage und Demontage

KOSTENVERLÄUFE

Wirtschaftlichkeit der Prozesse

- Die Produktionskosten sind abhängig von der Art der Kupplung.
- Die Betriebskosten sind durch die Notwendigkeit der Wartung, insbesondere der Schmierung, gegeben.

14. Literatur

Bach C.: *Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Erster Band: Text*, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903.

Bach C.: *Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Zweite Band: Tafeln und Tabellen*, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903.

Berard S. J., Watters E. O.: *Machine Design Problems*, D. Van Nostrand Company, New York, 1927.

Bhushan, B.: *Handbook of Nanotechnology*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 3-540-01218-4.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů – Zásady konstruování spoje*, Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1984.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů II – Hřídele, tribologie, ložiska*; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987.

Boháček, F.: *Části a mechanismy strojů III – Převody*; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987.

Boháček, F. et al.: *Základy strojnictví*, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00083-1.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů - Díl II; Převody a převodová ústrojí*, Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1963.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů, 1. Svazek*, SNTL Praha, Praha, 1989, ISBN 80-03-00046-7.

Bolek, A. a kol.: *Části strojů, 2. Svazek*, SNTL Praha, Praha, 1990, ISBN 80-03-00426-8.

Branowski, B.: *Podstawy konstrukcji napędów maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2007, ISBN 978-83-7143-347.

Budynas a kol.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 8th edition, Boston: Mc Graw Hill, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2 (ještě nenaskenovaný obsah).

Bureš, V.: *Části strojů II (Převody; pružiny, součásti potrubí)*; Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1979.

Bureš, V.: *Části strojů I (Části spojovací, hřídele, osy, ložiska a spojky)*; Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1988.

Černoch, S.: *Strojně technická příručka*, SNTL, Praha, 1959.

Dejl, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. – Spojovací části strojů*. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-018-3.

Dietrych, J.: *Podstawy konstrukcji maszyn*, Wydawnictwa naukowo - techniczne, Warszawa, 1967.

Deutschman, A. D. a kol.: *Machine Design - Theory and Practice*; Macmillan Publishing Co., Inc., New York and Collier Macmillan Publishers, London, 1963, ISBN 0-02-329000-5 (Hardbound), ISBN 0-02-979720-9 (International Edition).

Dubbel, I.: *Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl I*; SNTL, Praha, 1961.

Dubbel, I.: *Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl II*; SNTL, Praha, 1961.

Faires, V. M., Wingren, R. M.: *Problems on the Design of Machine Elements*, The Macmillan Company, New York, 1955.

Glezl, Š. a kol.: *Základy strojíctva*, Alfa vydavatelstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1986.

Grote, A.: *Handbook of Mechanical Engineering*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 978-3-540-49131-6.

Hamrock a kol.: *Fundamentals of Machine Elements*, 2nd edition, Boston: Mc Graw Hill, 2005, ISBN 978-0-07-246532-7.

Hájek, E. a kol.: *Pružnost a pevnost I*, SNTL, Praha, 1988.

Heiligeberg Workshop: *Die Zukunft der Maschinenelementen – Lehre (Heiligenberger Manifest)*, Institute für Maschinen – Konstruktionlehre und Kraftfahrzeugbau Universität Karlsruhe a Maschinenelemente und Konstruktionslehre TH Darmstadt (Prof. Dr. Ing. Birkhofer), Schloß Heiligeberg, 23. – 24. 4. 1997.

Hosnedl, S., Krátký, J.: *Příručka strojího inženýra - Obecné strojíčásti 1*. Praha: Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-055-3.

Hosnedl, S., Krátký, J.: *Příručka strojího inženýra - Obecné strojí části 2* Praha: Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-202-5.

Juinall, R. C.: *Fundamentals of Machine Component Design*, John Wiley&Sons, New York, 1983, ISBN 0-471-06485-8.

Kenneth, S. E., McKee, R.B.: *Fundamentals of Mechanical Component Design*, McGraw-Hill, New York, 1991, ISBN 0-07-019102-6.

Klepš, Z., Nožička, J.: *Technické tabulky*; SNTL, Praha, 1986.

Kochman, J. a kol.: *Části strojů - Díl I; Spojování částí strojů a spojovací části*; Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1956.

Kříž, R. Vávra, P.: *Strojírenská příručka, 5. svazek*; Technika konstruování, Technická dokumentace, Části strojů a převody (1. část); Praha: Scientia, 1994, ISBN 80-85827-59-X.

Kříž, R., Vávra, P.: *Strojírenská příručka, 6. svazek*; Praha: Scientia, 1995, ISBN 80-85827-88-3.

Málik, L. a kol.: *Konstruovanie*, Žilinská univerzita v Žilině, 2007, ISBN 978-80-8070-971-6.

Medvecký, Š. a kol.: *Základy konštruovania*, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 1999, ISBN 80-7100-547-9.

Medvecký, Š. a kol.: *Konstruovanie 1*, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 2007, ISBN 978-80-8070-640-1.

Meerkamm, H.: *Maschinenelemente*, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 1985.

Moravec, V.: *Konstrukce strojů a zařízení II – Čelní ozubená kola*. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-051-5.

Mott, R. L.: *Machine Elements in Mechanical Design*, Upper Saddle River, New Jersey, 2004, ISBN 0-13-061885-3.

Neukirchner, J.: *Fachwissen des Ingenieurs*; Veb Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig, 1976.

Němec, J. a kol.: *Pružnost a pevnost ve strojírenství*, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00193-5.

Niemann, V. a kol.: *Maschinen-elemente*. Berlin: Springer, 2001, ISBN 3-540-65816-5.

Orlov, P. I.: *Základy konštruovania*, Alfa vydavateľstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1979.

Pešík, L.: *Části strojů, stručný přehled*, 1. díl, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2001, ISBN 80-7083-584-2.

Pešík, L.: *Části strojů, stručný přehled, 2. díl*, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2002, ISBN 80-7083-608-3.

Roloff, H. a kol.: *Aufgabesammlung Maschinenelementen*, F. Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1975, ISBN 3-528-34015-0.

Schmidt, Z., Dobrovolný, B.: *Technická příručka – Výpočty a konstrukce*, Práce – Vydavatelstvo ROH, Praha, 1956.

Shigley, J.E., Mitchell, L.D.: *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983, ISBN 0-07-056888-X.

Shigley, J. E.: *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1983, ISBN 0-07-056898-7.

Shigley, J. E., Budynas, R. G., Nisbett K. J.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2.

Shigley, J. E., Mischke, R. Ch., Budynas, R. G.: *Konstruování strojních součástí*. Z angl. orig. *Mechanical Engineering Design*, 7th ed. 2004 přel. M. Hartl at al. Eds. M. Hartl a M. Vlk. VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, Brno, 2010, ISBN 978-80-214-2629-0 .

Spotts, M. F.: *Design of Machine Elements*, Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1961.

MATERIALIEN DER MASCHINEN- BAUINDUSTRIE

1. Industrielle Materialien in der aktuellen Praxis

Im Allgemeinen werden industrielle Materialien in Baustoffe, d.h. die Materialien zur Herstellung technischer Konstruktionen (Maschinenelemente, Gebäudeteile, elektrische und technische Komponenten usw.) und Hilfsstoffe (Öle, Kraftstoffe, Formstoffe, chemische Reagenzien, Kühlmittel usw.) unterteilt. Es ist notwendig, die Qualitätseigenschaften von Industriematerialien zu systematisieren. Zu diesem Zweck werden Variablen verwendet, die die Grundlage für die Bewertung und Messung bilden. Dies sind atomare, mechanische, thermische, chemische, elektrische, magnetische, akustische und optische Größen. Im Produktionsprozess wird das Verhalten von Materialien anhand technologischer Eigenschaften bewertet, die die Möglichkeit ihrer Verarbeitung in eine gewünschte Form oder die Möglichkeit, die geforderten Eigenschaften wie Gießbarkeit, Härte usw. zu erreichen, bestimmen. Ebenso müssen die technologischen Eigenschaften mit Standardmessgeräten bewertet werden, die auf Standardmethoden und -einheiten basieren[10],[12],[14],[71].

Derzeit sind etwa 20 000 Legierungen von Industriemetallen bekannt, von denen 12 000 Eisenlegierungen mit Legierungselementen wie C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, Nb, Ta, Ti, Zr und Verunreinigungen O, S, P usw. sind. Es gibt etwa 2 000 Aluminiumlegierungen mit Zusatzmetallen, wie Cu, Mg, Si, Zn, Mn, Ni, Sn, Fe, Pb, Zr und O, H-Verunreinigungen. Es gibt etwa 5 000 Kupferlegierungen mit Zusatzmetallen wie Zn, Sn, Al, Mn, Ni, Fe, Pb, Zr und O, H-Verunreinigungen. Andere Metalllegierungen werden in verschiedenen Industriezweigen eingesetzt. Die Hauptgruppen der in der aktuellen Praxis verwendeten Materialien sind in Abbildung 1.1 dargestellt.



Abbildung 1.1 Hauptmaterialgruppen[71]

Legende: Ocel - Stahl, Liatina - Guss, Kovy - Metalle, Zliatiny Kovov - Metalllegierungen, Keramika - Keramik, Oxidová - Oxidkeramik, Neoxidová - Nichtoxidkeramik, Sklo - Glas, Elastomere - Elastomere, kaučuk - Kautschuk, Guma - Gummi, Polyméry - Polymere, Plastoméry - Plastomere, Duroméry - Duroplaste, Hybridní materiály - Hybridmaterialien, Kompozitát - Composites

Eine weitere Unterteilung der Industriemetalle basiert auf den geforderten physikalischen Eigenschaften, die praktische Anwendung und andere Perspektiven ihrer Verwendung sind in Abbildung 1.2 dargestellt.

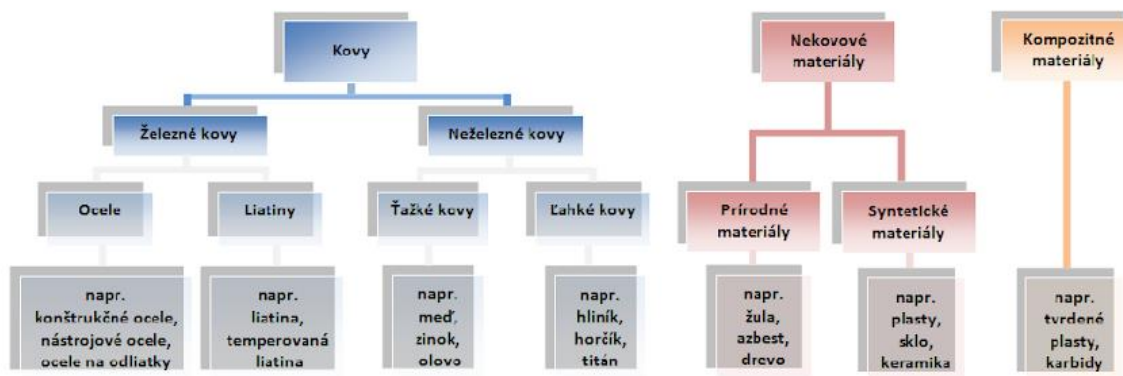


Abbildung 1.2 Klassifizierung der Materialien[71]

Legende: Kovy - Metalle, železné kovy - Eisenmetalle, neželezné kovy - Nichteisenmetalle, ocele - Stähle, liatiny - Gusseisen, ťažké kovy - Schwermetalle, ľahké kovy - Leichtmetalle, např. konštrukčné ocele, nástrojové ocele, ocele na odliatky - z.B. Baustahl, Werkzeugstahl, Gussstahl, Liatina, Temperovaná Liatina - Guss, Temperguss, meď, Zink, Olovo - Kupfer, Zink, Blei, Hliník, horčík, Titan - Aluminium, Magnesium, Titan, nekovové mate-

riály - nichtmetallische Materialien, přírodní materiály - natürliche Materialien, syntetické materiály - synthetische Materialien, žula, Asbest, drevo - Granit, Asbest, Holz, Plastik, sklo, keramika - Kunststoffe, Glas, Keramik, kompozitné materiály - Verbundwerkstoffe, tvrdené plasty, karbidy - gehärtete Kunststoffe, Karbide

1.1. Beschreibung der einzelnen Materialgruppen

Stahl - Tempergusslegierungen, die Eisen und eine geringe Menge an Kohlenstoff enthalten, deren Gehalt kleiner als 2,14 % ist, d.h. unterhalb der Grenze der Löslichkeit in Austenit liegt. Legierte Stähle enthalten auch Edelmetalle. Stahl ist der Hauptbaustoff für die Herstellung von Maschinen, Motoren, Konstruktionen, insbesondere für deren mechanisch beanspruchte Teile (Wellen, Zahnräder, Schrauben, Federn, Bolzen und Nockenwellen[11],[19],[26],[27]).

Gusseisen - Eisen- und Kohlenstofflegierungen (2,14 % - 6,67 % C), mit guter Gießbarkeit. Sie werden zum Gießen von Bauteilen mit komplexer Formgebung verwendet, z.B. Motorgehäuse oder deren Teile.

Schwermetalle - (Dichte $\rho > 5 \text{ kg.dm}^{-3}$). Dazu gehören z.B. Kupfer, Zink, Chrom, Nickel, Silber, Zinn, Wolfram. Sie werden entweder in reiner Form (aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften) oder in Legierungen verwendet.

Leichtmetalle - (Dichte $\rho < 5 \text{ kg.dm}^{-3}$). Dazu gehören Aluminium, Magnesium, Titan. Sie haben eine relativ hohe Festigkeit und eine gute Korrosionsbeständigkeit bei relativ geringer Dichte. Aluminium wird z.B. für die Herstellung von Motorkolben sowie leichten Auto- und Flugzeugteilen verwendet.

Natürliche Materialien - Granit, Glimmer, Diamanten, Holz, Elfenbein, Baumwolle, Wolle, Seide.

Im Maschinenbau wird z.B. Granit als Zeichenbrett verwendet. Es hat eine geringe Wärmeleitfähigkeit und im Vergleich zu Gusseisenplatten eine höhere Temperatur.

Synthetische Materialien - dazu gehört eine große Gruppe makromolekularer Polymere aus einfachen organischen Substanzen, genannt Kunststoffe, aber auch Glas und Keramik. Kunststoffe sind leicht, wasserabweisend, elektrisch nicht leitend, wärmeisolierend, chemikalienbeständig. Sie haben verschiedene mechanische Eigenschaften; einige Kunststoffe sind elastisch, während andere steif und spröde sind. Kunststoffe haben einen geringen thermischen Widerstand. Kunststoffe werden für eine Reihe von Zwecken verwendet, von der Herstellung von Reifen bis hin zu Getrieben. Aufgrund ihrer Härte und Abriebfestigkeit werden keramische Werkstoffe für Düsen, Schneidwerkzeuge und Dichtringe verwendet.

Verbundwerkstoffe - Materialien, die aus zwei oder mehreren Arten von Materialien bestehen. Glasfaser besteht aus Kunstharz und Glasfasergewebe. Sie sind zäh, leicht und stark. Sie werden zur Herstellung von Containern, Kajaks, Pools oder Leiterplatten eingesetzt. Eine weitere Art von Verbundwerkstoff ist Hartmetall. Sie kombinieren die große

Härte von Hartmetall und die Zähigkeit von Bindemetallen. Sie werden zur Herstellung von Schneidwerkzeugen für Werkzeugmaschinen verwendet.

Herstellung von Materialien - Materialien werden hauptsächlich aus natürlichen Rohstoffen verwendet. Rohstoffe befinden sich in den Ablagerungen der Earth´s Kruste. Metalle werden aus Metallerzen gewonnen, Kunststoffe werden meist aus Öl und Erdgas hergestellt. Materialien aus Rohstoffen werden hauptsächlich durch thermische und chemische Prozesse gewonnen. Materialien kommen in Form von Halbfabrikaten, z.B. Profile, Bleche oder Drähte, in die technische Produktion. Naturmaterialien werden direkt aus natürlichen Vorkommen gewonnen (z.B. Granit aus Steinbrüchen).

Hilfsstoffe und Energie - bei der Herstellung und Montage von Maschinenteilen sind Hilfsstoffe und Energie für den Antrieb von Maschinen und für thermische Prozesse notwendig. Z.B. beim Drehen der Komponenten ist Bearbeitungsfluid zum Kühlen und Schmieren der Werkzeugkante, Schmierung zum Schmieren von Drehlagern und elektrische Energie für den Antrieb von Motoren und der Steuerung erforderlich.

2. Allgemeine Materialeigenschaften

2.1. Physikalische Eigenschaften von Materialien

Dichte

Die Materialdichte ist ein Verhältnis ihrer Masse m zu ihrem Volumen V . Bei Gasen wird die Dichte bei normalem Luftdruck angegeben [8],[10],[11].

Schmelztemperatur

Die Schmelztemperatur ist die Temperatur, bei der das Material zu schmelzen beginnt (unter Normaldruck). Die höchste Schmelztemperatur gilt für Verbundkarbid (bestehend aus vier Teilen TaC und einem Teil Zirkonkarbid) - 4000 °C, Diamanten (3 816 °C) und Graphit (3 530 °C). Reine Metalle haben eine präzise Schmelztemperatur. Legierungen, z.B. Stähle, haben nur eine Schmelztemperatur bei einer bestimmten Zusammensetzung (am eutektischen Punkt). In anderen Fällen gehen sie bei einem bestimmten Temperaturbereich (zwischen Solidus- und Liquiduskurve im Gleichgewichtsdiagramm) vom festen in den flüssigen Zustand über.

Elektrische Leitfähigkeit

Elektrische Leitfähigkeit ist die Fähigkeit, elektrischen Strom zu leiten. Sie entspricht dem Strom bei der Gerätespannung. Gute Leiter sind z.B. Silber, Kupfer und Aluminium. Sie werden als Materialien für die Herstellung von Leitern verwendet. Materialien, die keinen elektrischen Strom leiten, werden als Isolatoren bezeichnet. Dazu gehören Kunststoffe, Glas und Keramik.

(Längs-)thermische Ausdehnung

Der thermische Ausdehnungskoeffizient in Längsrichtung α zeigt die Ausdehnung in Längsrichtung Δl eines Körpers von 1 m Länge bei der Temperaturänderung von $\Delta t = 1$ °C an. Die Wärmeausdehnung Δl ist z.B. bei Messwerkzeugen, Einbauteilen oder Gussteilen zu berücksichtigen. Der thermische Schwund muss durch Zugaben kompensiert werden.

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit ist der Grad der Fähigkeit eines Materials, Wärmeenergie zu leiten. Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit sind Metalle, insbesondere Kupfer, Aluminium und Eisen oder Stahl. Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit sind Kunststoffe, Glas und Luft. Diese werden zur Wärmedämmung eingesetzt.

2.2. Materialmechanische Eigenschaften

Durch die auf das Material (Festkörper) einwirkenden Kräfte verformt sich das Material oder das Festkörper schlecht. Abhängig von der inneren Struktur des Materials ist die resultierende Verformung entweder dauerhaft (plastisch) oder temporär (elastisch). Eine Säge aus gehärtetem Werkzeugstahl kann mit zunehmender Kraft gebogen und dann mit abnehmender Kraft wieder in ihre ursprüngliche Form gebracht werden, da sie elastisch ist. Seine Struktur wird durch Verformung nicht verändert, nur die Abstände der Atome im Kristallgitter ändern sich. Innerhalb eines bestimmten Verformungsbereichs verhalten sich einige Materialien für einen bestimmten Zeitraum so elastisch (da jedes Material durch periodisch wiederholte Beanspruchung abgenutzt wird). Diese Eigenschaft wird als Plastizität (Verformbarkeit, Duktilität) bezeichnet. Zu den formbaren oder duktilen Materialien gehören z.B. geschmiedeter Stahl oder reines Eisen[13],[14],[15].

Elastische und plastische Verformung

Ein Stab aus unlegiertem Baustahl zeigt beim Biegen sowohl plastische als auch elastische Verformung. Bei großen Verformungen kehrt der Stab nur teilweise in seine Ausgangsform zurück, und es bleibt eine dauerhafte Verformung bestehen. Zu den Werkstoffen mit elastischem und plastischem Verformungsverhalten gehören z.B. ungehärteter Stahl, Kupfer- und Aluminiumlegierungen. Verschiedene Materialien können ein elastisches, plastisches und elastisches sowie plastisches Verformungsverhalten aufweisen.

Zähigkeit, Sprödigkeit, Härte, Härte

Zähes Material ist ein Material, das elastisch und plastisch verformt werden könnte, aber die Verformung ist mit großer Materialbeständigkeit. Zu den sehr zähen Materialien gehören Baustahl und Edelstahl. Spröde Materialien können mit großer Kraft nur geringfügig verformt werden, da eine Veränderung der Materialkristallstruktur nicht möglich ist. Bei größeren Verformungen bricht das Material oder bricht in mehrere Stücke. Spröde Materialien sind z.B. harte Materialien wie Edelsteine, Glas, Keramik und in gewisser Weise auch gehärteter Kohlenstoffstahl (mit einem hohen Anteil an Martensit in seiner Struktur). Die Materialhärte bezieht sich auf den Widerstand eines Materials gegen das Eindringen eines Fremdkörpers in ihn, und sie wird anhand der Größe der im Prüfkörper bei einem bestimmten Druck oder einer bestimmten Schlagenergie vorgenommenen Verformung beurteilt. Der härteste Werkstoff ist Borcarbid B₄C und Diamant. Zu den harten Werkstoffen gehören gesinterte Karbide, Edelsteine und Werkstoffe auf Basis von Al₂O₃ (Korund), Karbide (Karbund SiC, TiC), Glas, Keramik und gehärteter Stahl (mit Martensit in seiner Struktur). Zu den weichen Materialien gehören Aluminium und Kupfer. Erforderlich ist die Härte z.B. bei Werkzeugen, Reibungs- und Gleit-

flächen.

2.3. Technologische Eigenschaften von Materialien

Technologische Eigenschaften sind Merkmale der Materialbearbeitung durch verschiedene technologische Verfahren[16],[18],[19].

Gießbarkeit - ist die Fähigkeit des Materials, eine dünne Schmelze herzustellen, die die Form vollständig ausfüllt und beim Verfestigen keine Hohlräume bildet. Die gut gießbaren Werkstoffe sind z.B. verschiedene Gusseisenarten, Aluminiumlegierungen für Gussteile, Kupfer- und Zinklegierungen sowie Zinklegierungen.

Verformbarkeit - ist die Fähigkeit eines Materials, eine plastische Verformung durch Kraft zu bewirken. Die Warmformverfahren sind z.B. Warmwalzen und Schmieden. Die Kaltformgebung umfasst z.B. Kaltwalzen, Biegen, Bremsenbiegen und Tiefziehen. Gut verformbare Materialien sind z.B. kohlenstoffarmer Stahl, Aluminiumlegierungen, Kupferlegierungen für den Guss. Gusseisen kann nicht geformt werden.

Zerspanbarkeit - Zerspanbare Materialien sind für den Schneidbetrieb geeignet. In gibt an, ob und unter welchen Bedingungen das Material geschnitten werden kann, z.B. gedreht, gefräst oder geschliffen. Die Bewertungskriterien für die Bearbeitbarkeit sind z.B. die Qualität der bearbeiteten Oberfläche, die Bedingungen (Schwierigkeitsgrad) des Schneidvorgangs und die Lebensdauer des Werkzeugs.

Metalle sind in der Regel gut zerspanbar, insbesondere unlegierte und niedrig legierte Stähle und Gusseisen, Kupferlegierungen und Aluminiumlegierungen. Materialien mit schlechterer Zerspanbarkeit sind z.B. elastische und zähe Materialien, wie z.B. reines Kupfer, Reinaluminium, Edelstahl, Titan und harte Materialien, z.B. gehärteter Stahl.

Schweißbarkeit - gibt an, ob das Material zum Schweißen oder Spitzenschweißen geeignet ist. Gut schweißbare Werkstoffe sind unlegierte und niedrig legierte Stähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt. Durch spezielle Verfahren ist es möglich, hochlegierte Stähle, Legierungen und Kupferlegierungen zu schweißen.

Härtbarkeit und Veredelung - es ist die Fähigkeit des Materials, die Härte oder Festigkeit eines Materials durch geeignete Wärmebehandlung zu erhöhen. Die meisten Stähle können gehärtet werden, eine Veredelung ist nur bei einigen Arten von Legierungen und Aluminiumlegierungen möglich.

2.4. Chemische Eigenschaften

Die chemischen Eigenschaften von Werkstoffen sind wichtig für die Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse, aggressive Stoffe und hohe Temperaturen (zur Unterstützung der chemischen Auswirkungen der Umgebung) auf das Material.

Korrosionsverhalten - beschreibt das Materialverhalten in feuchter Luft, Industriemosphäre, Wasser oder in anderen aggressiven Stoffen. Die von der Oberfläche ausgehende Störung der Materialstruktur durch chemische und elektrochemische Prozesse wird als Korrosion bezeichnet. Korrosionsbeständige Materialien sind Edelstahl und die meisten Kupfer- und Aluminiummaterialien. Zu den Werkstoffen, die nicht korrosionsbeständig sind, die durch feuchte Luft oder Industriemosphäre verursacht werden, gehören unlegierte und niedrig legierte Stähle und Gusseisen, und diese Werkstoffe korrodieren. Die Oberflächenbehandlung mit einer Schutzschicht oder einer anderen Schutzschicht trägt dazu bei, Korrosion über einen längeren Zeitraum zu verhindern[21],[22],[23]. Eine weitere chemische Eigenschaft ist die Widerstandsfähigkeit gegen Krätzbildung. Es beschreibt das Verhalten des Materials bei hohen Temperaturen der Luft. Bei einigen Werkstoffen, z.B. Kunststoffen, ist auch die Brennbarkeit zu beachten und bei der Verwendung der Werkstoffe sind Festigkeitsverluste sowie die Zündtemperatur zu berücksichtigen. Kunststoffe verändern ihre Eigenschaften auch unter Sonneneinstrahlung, insbesondere durch ihre UV-Strahlung.

Michael F. Ashby[2] hat in seiner Arbeit Materials Selection in Mechanical Design eine Reihe von Materialkarten erstellt. Sie stellen die Abhängigkeiten der wichtigsten Materialeigenschaften für die Grundgruppen der Materialien dar: Metalle, Keramik, Glas, Polymere, Elastomere und Hybridmaterialien (Verbundwerkstoffe, Schaumstoffe, Naturmaterialien). In der Reihe der Materialchart-Karten bestimmte er die folgenden Abhängigkeiten: Young's Modul - Materialdichte, Young's Modul - Zugfestigkeit, spezifisch Young's Modul - spezifische Zugfestigkeit, Verlustfaktor - Young's Modul, Wärmeleitfähigkeit - elektrischer Widerstand, Wärmeleitfähigkeit - Wärmeleitfähigkeit - Varianz Wärme, thermischer Ausdehnungskoeffizient - Young's Modul, Festigkeit - maximale Betriebstemperatur, Trockenreibungskoeffizient zu Stahl und Young's Modul - relative Kosten pro Volumeneinheit.

3. Kriterien für die Materialauswahl

Die primäre Anforderung bei der Auswahl eines geeigneten Materials ist fast immer seine Festigkeit. Es ist wichtig, die Materialeigenschaften (Festigkeit, Zähigkeit, Beständigkeit gegen zyklische Belastung, Verschleiß, Temperatur, Korrosion usw.) mit den geforderten Gebrauchseigenschaften einer zukünftigen Systemkomponente optimal zu kombinieren [71].

Neben den Materialeigenschaften sind bei der Auswahl eines geeigneten Materials weitere Kriterien zu berücksichtigen:

Produktionstechnologie - neben der Tragfähigkeit einer Technologie für ein bestimmtes Produkt basiert die Materialauswahl auf den Erkenntnissen über die Auswirkungen auf die Zusammensetzung, die Struktur und die mechanischen Eigenschaften. Wenn möglich, werden nach anderen Kriterien vorrangig abfallfreie Technologien, z.B. Pulvermetallurgie, Präzisionsguss, eingesetzt, die es ermöglichen, die Nutzung des Materials zu maximieren und die Bearbeitung zu minimieren (eine Technologie, die mit den höchsten Kosten verbunden ist).

Material- und Produktionskosten - die Wirtschaftlichkeit der Wahl ist ein komplexes Problem, das den Preis des ausgewählten Materials sowie dessen Verarbeitungstechnologien umfasst. So kann beispielsweise der Ersatz von Stahl durch eine Aluminiumlegierung oder ein Polymer als weniger kostengünstig erscheinen. Die Berechnung muss jedoch auch niedrigere Kosten für Transport, Oberflächenbehandlung und Bearbeitung beinhalten.

Wirtschaftlichkeit des gewählten Materialeinsatzes - it's auch ein komplexes Problem. Die Auswirkungen des ausgewählten Materials auf die Umwelt (direkt oder indirekt) haben viele Aspekte und sind schwer zu quantifizieren. Darüber hinaus ist es auch notwendig, die Möglichkeit des Recyclings des ausgewählten Materials zu berücksichtigen.

Weitere Kriterien - dazu gehören z.B. die Notwendigkeit, das Spektrum der Halbfabrikate und verfügbaren Materialien, begrenzt verfügbare Produktionsmittel, die Zuverlässigkeit der Eingangsdaten (d.h. das Ausmaß, in dem die Prüfung Materialeigenschaften definiert, das Ausmaß, in dem die Probe einer realen Komponente entspricht, das Wissen über Belastung und Umgebung, etc.)

Die Wahl eines Materials ist ein komplexer Prozess, und die große Menge an verfügbaren Materialien macht es noch komplizierter. Dies ist jedoch nicht die Hauptursache für seine Komplexität. Bei der Auswahl eines Materials ist es notwendig, eine Vielzahl verschiedener Aspekte und deren gegenseitige Beziehungen und Einflüsse zu berücksichtigen. Zum Beispiel die Beziehung eines Materials (seine technologischen, mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften, sein Preis, sein Sortiment usw.), Techno-

logien (insbesondere rationelle Produktion) und Struktur (Form und Funktion eines Produkts, Anforderungen an es). Darüber hinaus ist es notwendig, auch Material- und Produktionskosten, Energie- und Rohstoffbedarf, mögliche Umweltauswirkungen einschließlich z.B. Materialrecycling[28],[32],[42] zu berücksichtigen.

Die Wahl eines Materials für ein bestimmtes Produkt kann nicht unabhängig von der Technologie sein, die zur Herstellung des betreffenden Produkts verwendet werden muss (seine Form, Oberfläche usw.). Die Produktfunktion, ihre Struktur, ihr Material und ihre Technologie interagieren miteinander (Abbildung 3.1). Die Produktfunktion (z.B. Übertragung von Last, Wärme, Energiespeicherung usw.) bestimmt die Wahl des Materials, das die erforderlichen Kriterien erfüllen kann. Die Technologie wird durch die Eigenschaften des verwendeten Materials beeinflusst (Verformbarkeit, Bearbeitbarkeit, Schweißbarkeit, Gießbarkeit, Wärmebehandlung usw.). Die verwendete Technologie beeinflusst die Möglichkeit, die gewünschte Form, die Genauigkeit der Form, die Oberflächenqualität und den Preis zu erreichen.

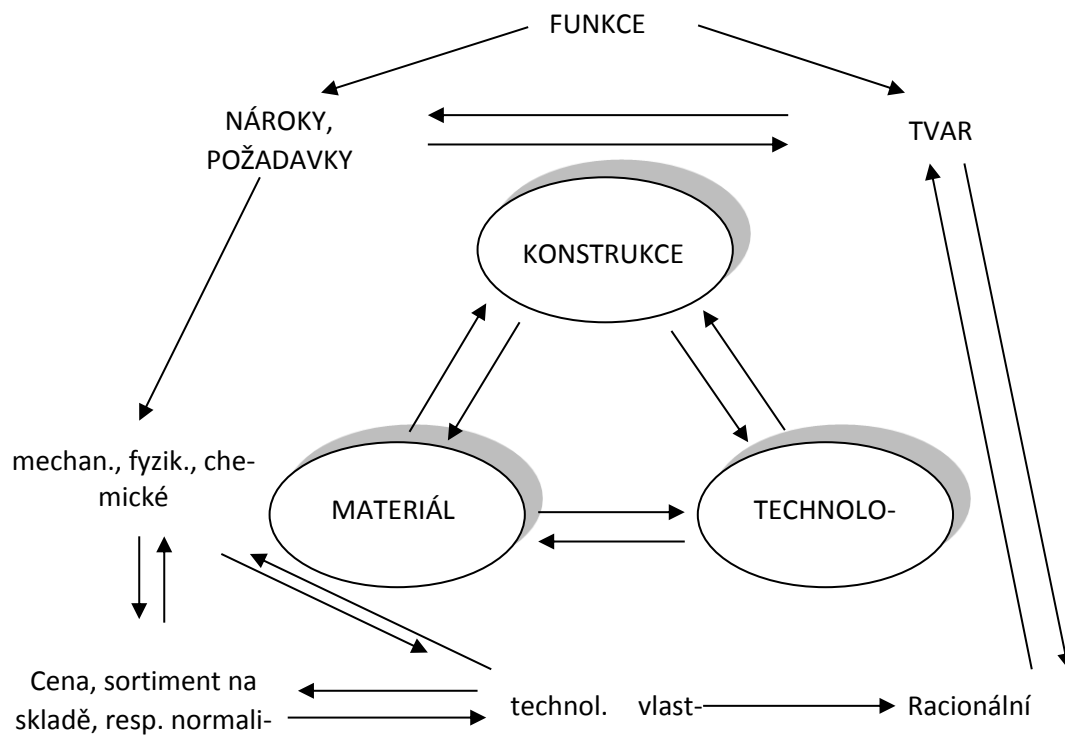


Abbildung 3.1 Zusammenhang zwischen Produkteigenschaften (Form, Funktion), Material und Technologie[28].

Das Produktdesign (seine Form) begrenzt die Wahl des Materials und der Technologie. Je komplizierter das Design ist, desto schmäler ist die Spezifikation und desto höher die Interaktion.

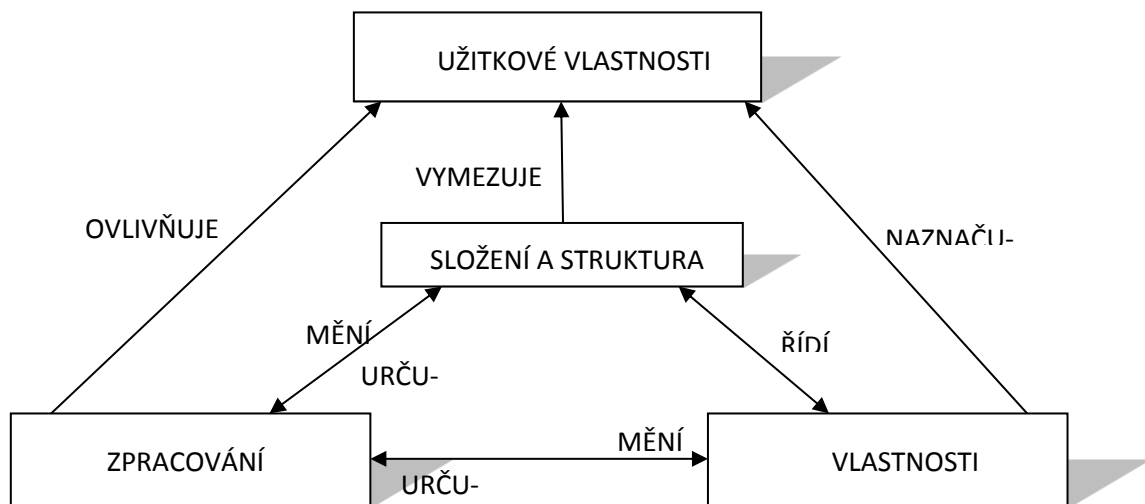


Abbildung 3.2 Zusammenhang zwischen Materialzusammensetzung und Struktur, Verarbeitung, Eigenschaften und Gebrauchseigenschaften des Produkts[28].

Es ergibt sich aus Figur 3.2, die Materialeigenschaften werden durch ihre Zusammensetzung und Struktur bestimmt, die durch die verwendete Technologie (z.B. Verstärkung beim Kaltumformen) beeinflusst (verändert) werden und umgekehrt wird die Verwendung einer bestimmten Technologie bestimmt. Die Zusammensetzung und Struktur der Materialien wird durch Primär- und Sekundärtechnologien bestimmt und ist begrenzt, um die erforderlichen Gebrauchseigenschaften eines Produkts zu erreichen. Neben der Struktur und Zusammensetzung eines Materials werden die Gebrauchseigenschaften des Produkts durch die Eigenschaften des verwendeten Materials und seiner Verarbeitungstechnologie beeinflusst. Das gesamte System der gegenseitigen Wechselwirkungen (Gebrauchseigenschaften - Technologien - Zusammensetzung, Struktur und Eigenschaften des Materials) wird auch durch wirtschaftliche Parameter, d.h. Kosten des verwendeten Materials und der verwendeten Technologie, sowie durch die Wirkung aller reaktiven Elemente beeinflusst.

3.1. Materialauswahl im Produktentwicklungsprozess

Das Entwerfen eines neuen Produkts ist ein interaktiver Prozess, der mit einer Idee beginnt und mit einem Produkt endet, das der ursprünglichen Idee oder Marktanforderung entspricht (Abbildung 3.3). Zwischen Beginn und Ende dieses Prozesses gibt es drei Stufen der Gestaltung: Konzept, Verkörperung und Ausführungsplanung[33],[34],[35].

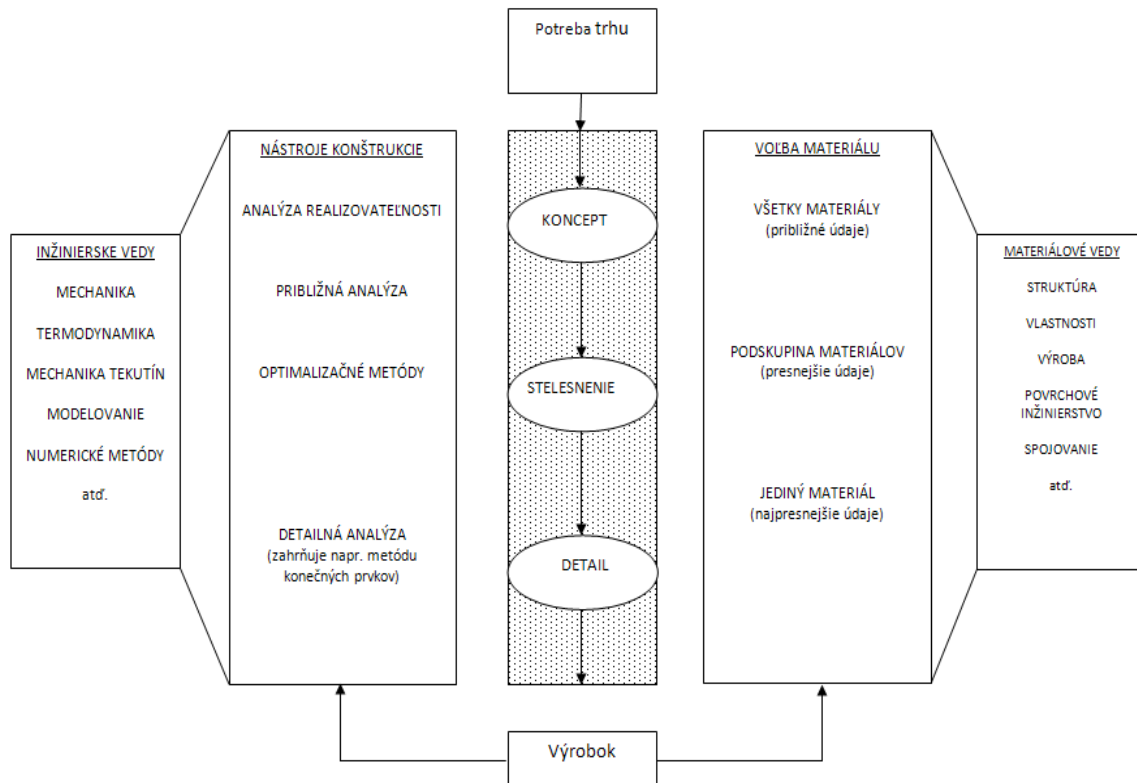


Abbildung 3.3 Design eines neuen Produkts - Flussdiagramm[28]

Legende: potreba trhu - Marktnachfrage, koncept - Konzept - Konzept, stelesnenie - Verkörperung, výrobok - Produkt, nástroje konštrukcie - Bauwerkzeuge, analýza realizovateľnosti - Machbarkeitsanalyse, optimalizačné metódy - Optimierungsmethoden, detailná analýza (zahŕňuje napr. metódu konečných prvkov) - detaillierte Analyse (beinhaltet e.g. Finite-Elemente-Methode, inžinierske vedy - Ingenieurwissenschaften, mechanik - Mechanik, termodynamik - Thermodynamik, mechanik tekutín - Strömungsmechanik, modelovanie - Modellierung, numerické metódy - numerische Methoden, volba materiálu - Materialauswahl, všetky materiály (približne údaje) - alle Materialien (ca. Details), podskupina materiálov (presnejšie údaje) - Untergruppe Materialien (detailliertere Daten), jediný materiál (najpresnejšie údaje) - ein Material (die genauesten Daten), materiálové vedy - Materialwissenschaft, štruktúra - Struktur, vlastnosti - Eigenschaften, výroba - Produktion, povrchové inžinierstvo - Oberflächentechnik, spojovanie - Fügen

In der ersten Phase der Konzeption berücksichtigt der Designer zunächst alle alternativen Arbeitsprozesse oder Funktionsschemata, die das System sicherstellen wird. In der Verkörperungsphase untersucht der Konstrukteur die funktionale Struktur und analysiert die einzelnen Aktivitäten, einschließlich der Gestaltung der einzelnen Teileabmessungen. Diese Phase endet mit einem Projekt (Zeichnung des Systems) als Grundlage für eine detaillierte Planung. Der linke Teil der Abbildung zeigt die Werkzeuge und Technologien, die dem Designer zur Verfügung stehen oder die er einsetzt. Die Abbildung zeigt, dass die Auswahl des Materials mit einem Design in drei Stufen übereinstimmt, mit dem

Ziel, das Material auszuwählen, das die Gebrauchseigenschaften des Produkts optimal gewährleistet. In der ersten Phase (Konzeptentwurf) wird eine breite Palette von Materialien betrachtet, die die grundlegenden Bedingungen erfüllen könnten, z.B. Betriebstemperatur, Korrosionsbeständigkeit in der gegebenen Umgebung, etc. Anhand der geforderten Eigenschaften wird entschieden, ob das Bauteil aus Metall, Kunststoff, Keramik oder Verbundwerkstoff besteht. Gleichzeitig wird auch bestimmt, ob eine Metallkomponente im Guss- oder Umformbetrieb verwendet wird.

In der zweiten Stufe wird eine spezifischere Gruppe von Materialien verwendet, die den Anforderungen besser gerecht werden, z.B. die kostengünstigste Schweißtechnik, eine geeignete Oberflächenbehandlung, etc. Im Rahmen der Detailkonstruktion wird die Materialliste auf ein (in Ausnahmefällen auf wenige) Materialien reduziert, das/die am besten geeignete(n) und auch eine geeignete Technologie verwendet. Jede der Stufen entspricht unterschiedlichen Anforderungen an die Ebene der Materialdaten. In der Phase der Konzeption benötigt der Konstrukteur bei der Betrachtung verschiedener Konzeptvarianten nur ungefähre Daten. In der zweiten Stufe arbeitet der Konstrukteur mit genaueren Daten aus Materialdatenbanken.

In der Phase der Detailplanung benötigt der Konstrukteur möglichst genaue Daten über ein oder mehrere Materialien. In einigen Fällen sind die Daten aus Normen oder von Herstellern nicht ausreichend und es werden mehr Daten, z.B. aus Laboruntersuchungen, benötigt. Es kann jedoch vorkommen, dass das Produkt nicht funktioniert (entweder in Bezug auf Funktion oder unzureichendes Material) und der gesamte Konstruktionsprozess (mit den Informationen über den Fehler) in einem oder mehreren Phasen wiederholt wird.

3.2. Materialauswahlverfahren

Die Materialauswahl wird hauptsächlich aus zwei Gründen durchgeführt:

- Auswahl von Material und Technologien für ein neues Produkt (Originaldesign)
- Berücksichtigung alternativer Materialien und Produktionsverfahren für ein bestehendes Produkt

Ein neues Produkt bringt in der Regel neue Arbeitsprinzipien mit sich; daher ist es notwendig, bei der Auswahl des optimalen Materials und der optimalen Technologie eine möglichst breite Palette von Materialien zu berücksichtigen[44],[45],[46]. Im zweiten Fall (alternatives Material) ist die Situation anders. Es gibt in der Regel eine Vielzahl von Gründen für die Änderung oder Innovation des derzeit verwendeten Materials oder der Technologie, einschließlich:

- Notwendigkeit der Anpassung an die erforderlichen Funktionen von parametrischen Änderungen des Produkts in Bezug auf das alternative Design
- Bemühungen um eine Senkung des Materialpreises
- Reduzierung der Produktionskosten
- Nutzung der Vorteile eines neuen Materials oder einer neuen Technologie
- Lösung von Problemen im Zusammenhang mit der Materialbearbeitungstechnologie
- Anwendung der Empfehlungen aus einer fraktographischen Analyse der beschädigten Produkte

Bei der Auswahl eines Materials für ein neues Produkt ist wie folgt vorzugehen:

- Um die Funktion zu definieren, muss das Produkt über eine Funktion verfügen und diese in die erforderlichen Materialeigenschaften (Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit usw.) umsetzen und andere Faktoren wie Preis oder Verfügbarkeit des Materials berücksichtigen.
- Definition von Anforderungen (Größe und Form des Bauteils, erforderliche Toleranz, Oberflächenqualität, Anzahl der Bauteile, etc.)
- Vergleich der geforderten Eigenschaften mit den Parametern und Eigenschaften einer möglichst großen Anzahl von Materialien; Auswahl mehrerer Materialien, die den Anforderungen entsprechen könnten. Es ist auch sinnvoll, Mindest- und Höchstwerte festzulegen, die der Werkstoff in Bezug auf diese Eigenschaften aufweisen muss.
- Detailliertere Beurteilung ausgewählter Materialien (z.B. deren Verfügbarkeit in den angegebenen Halbzeugdimensionen, Preis, Betriebsverhalten, etc.)
- Die Auswahl eines Materials auf der Grundlage der Ergebnisse einer detaillierten Materialanalyse und die Ermittlung der Daten und Besonderheiten für die Konstruktion.

Bei der Auswahl eines alternativen Materials für ein bestehendes Produkt ist das folgende Verfahren anzuwenden:

- Charakterisierung der Gebrauchseigenschaften, der Produktionsanforderungen und des Preises des aktuell verwendeten Materials.
- Auswahl von Merkmalen, die verbessert werden sollen
- Um alternative Materialien und (oder) eine Technologie zu finden.
- Das Verfahren ist vergleichbar mit dem vorherigen Fall - Punkte 1-3) und vergleicht seine / ihre Parameter im Detail mit den aktuell verwendeten.

3.3. Verhältnis von Material und Technologie

Es ist eine sehr enge und gleichzeitig recht komplizierte Beziehung, da es in den meisten

Fällen mehrere oder eine große Anzahl von Produktionsprozessen gibt, um ein bestimmtes Bauteil herzustellen. Die Grundlage ist die Wahl eines Materials und einer Technologie, um die maximale Qualität des zu produzierenden Bauteils zu einem möglichst niedrigen Preis zu erreichen. Die Wahl der optimalen Technologie ist aufgrund einer Reihe von Faktoren kompliziert, die berücksichtigt werden müssen, wie z.B. die Menge der hergestellten Komponenten, Form, Anforderungen an Oberflächenrauheit und Präzision, Verfügbarkeit von Produktionsanlagen, Auswirkungen der eingesetzten Technologien auf die Umwelt, Kosten usw. [40], [41], [42], [43].

Die Materialwahl bestimmt die Technologien, die für die Herstellung des jeweiligen Bauteils eingesetzt werden können. Die Übersicht über die am häufigsten verwendeten Technologien zur Verarbeitung einer bestimmten Werkstoffgruppe ist in Tabelle 3.1 nach[80] dargestellt. Bei der Auswahl eines Materials ist es auch notwendig, andere Aspekte zu berücksichtigen, wie z.B. die Größe des Bauteils, seine Form, Komplexität, Toleranz, Oberflächenqualität und Produktionskosten. Aus dieser Sicht sind die Schlüsselfaktoren für die Beurteilung der Eignung der einzelnen Technologien vor allem die Zykluslänge (Zeit, die für die Herstellung eines Teils erforderlich ist), die Qualität (erforderliche Toleranz, Oberflächenrauheit, Rissfreiheit, Poren, Krätze usw.), die Flexibilität (die Fähigkeit, die jeweilige Technologie an die Herstellung eines anderen Produkts oder seiner Variante anzupassen), die Verwendbarkeit des Materials und die Produktionskosten.

Tabelle 3.1 Auslastung der Produktionsprozesse für ausgewählte Materialgruppen[80].

Technologie	Gusseisen	Kohlenstoffstahl	Legierter Stahl	Rostfreier Stahl	Al und sein Legierungen	Cu und sein Legierungen	Zn und sein Legierungen	Mg und sein Legierungen	Ti und sein Legierungen	Ni und sein Legierungen	Hochschmelzende Metalle	Plastomere	Duromere
Gießen / Formen													
Sandguss	•	•	•	•	•	•	-	•	-	•	-	X	X
Keramischer Formguss	-	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	X	X
Metallformguss	X	X	X	X	•	-	•	•	X	X	X	X	X
Druckguss	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	-
Feinguss	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Blasformen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Schleuderguss	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Schmieden/Schüttgutumformung													
Rückwärtsextrusion	X	•	•	-	•	•	•	-	X	X	X	X	X
Kaltstauchen	X	•	•	•	•	•		-	X	-	X	X	X
Druckschmieden	X	•	•	•	•	•	X	•	•	-	-	X	X

Pressen und Sintern (PM)	X	•	•	•	•	•	X	•	-	•	•	X	X
Heißextrusion	X	•	-	-	•	•	X	•	-	-	-	X	X
Rundkneten	X	•	•	•	•	-	-	•	X	•	•	X	X
Bearbeitung													
Bearbeitung von Halbfabrikaten	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-
Elektrochemische Bearbeitung	•	•	•	•	-	-	-	-	•	•	-	X	X
Funkenerosionsarbeiten	X	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	X	X
Drahtschneiden	X	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	•	X
Pressen													
Blechbearbeitung	X	•	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X	X
Formgebung der erwärmten Folie	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Metalldrücken	X	•	-	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X

3.4. Materialauswahl in Bezug auf die Umwelt

Die Auswirkungen des ausgewählten Materials auf die Umwelt haben viele Aspekte und sind schwer zu quantifizieren. Die direkten Auswirkungen (z.B. Toxizität) müssen ausgeschlossen werden. Eine Reihe von organischen und anorganischen Elementen haben toxische Eigenschaften. Die toxischen Wirkungen verschiedener Stoffe können grundsätzlich in unmittelbar und folgerichtig eingeteilt werden, im späteren Verlauf erfolgt die Einteilung in mutagen, krebserregend und fortpflanzungsgefährdend. Die detaillierte Untersuchung der Auswirkungen von Metallen auf den menschlichen Körper erhöht die Menge der gesundheitsschädlichen Metalle. Neben den kürzlich identifizierten toxischen Metallen (Hg, Be, As und Pb) gelten weitere zwölf Metalle als schädlich. Zu den Metallen mit nachweislich schädlicher Wirkung gehören As, Cd, Hg, Se und Th, während die Toxizität anderer Metalle (Co, Ni, Pb, V, Zn) von der Größe und Anzahl der Dosen abhängt. In letzter Zeit gab es Diskussionen über den möglichen Einfluss von Aluminium auf die Altersdemenz. Im Gegensatz zu einigen extrem giftigen, aber abbaubaren Verbindungen (z.B. Cyaniden) beschränkt sich die Möglichkeit der Metallentsorgung auf die Metallgewinnung oder die Bindung von Metallen an schwerlösliche Formen. Dem Thema der toxischen Elemente in Metallen wird große Aufmerksamkeit geschenkt, und aus den Ergebnissen[63],[64],[65] werden unmittelbar Konsequenzen gezogen.

Zu den wichtigsten indirekten Effekten gehören:

- Rohstoffe, Bergbau, Verarbeitung von Rohstoffen
- Energieintensität
- Sicherheit und langfristige Zuverlässigkeit
- Möglichkeit des Recyclings.

In der Toxikologie von Polymeren sind die Auswirkungen von Restmonomeren, Additiven und Substanzen, die bei der Entsorgung von Polymeren anfallen, erheblich. Von den vielen schädlichen Monomeren (z.B. Vinylchlorid, Acrylnitril, Methylmethacrylat usw.) sind die zuerst genannten krebserregenden Monomere am wichtigsten, deren Gehalt an Polyvinylchlorid auf 1 mg/kg begrenzt ist.

Metallurgie, Chemie und andere Industrien belasten die Umwelt in Form von Abfällen, die in der Basistechnologie nicht recycelt werden können. Die meisten metallurgischen Prozesse erzeugen alle Arten von Abfällen - gasförmige (Kohlenoxide, Stickoxide, Schwefeloxide), flüssige (Abwasser, Schlamm) und feste (Schlacke, Staub). Einer der Umweltparameter für die Beurteilung der industriellen Gasemissionen ist der spezifische Primärenergieverbrauch in Bezug auf eine bestimmte Produktreihe.

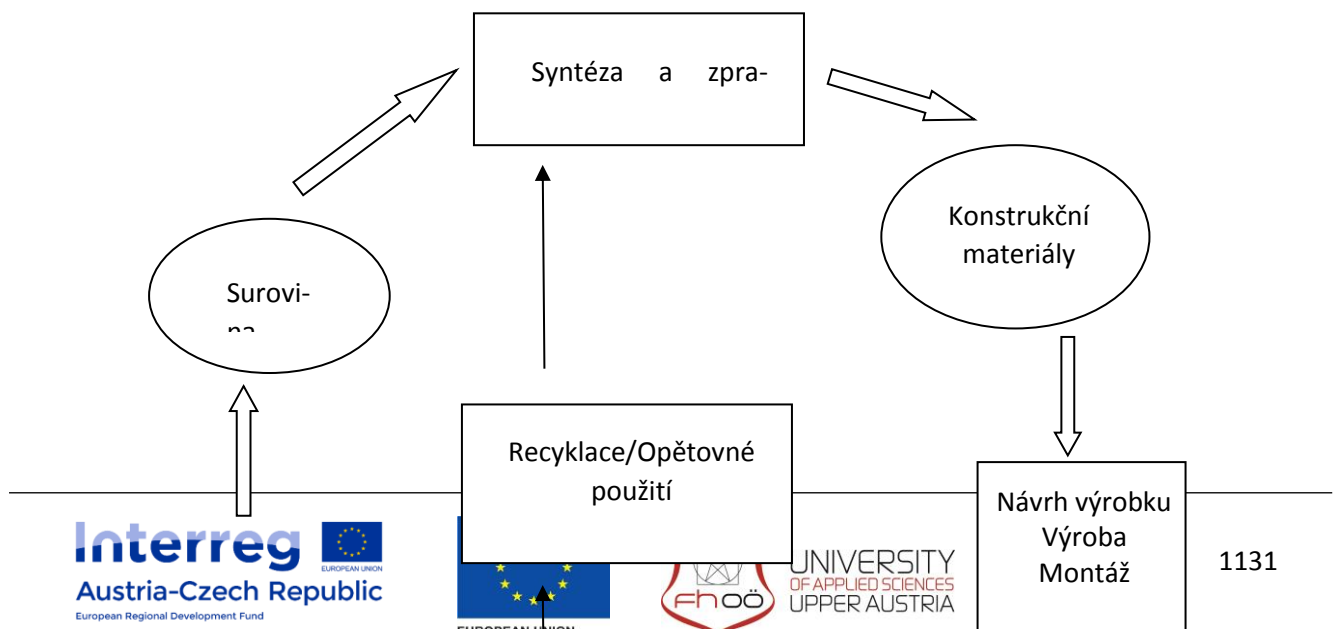
Von den einzelnen Materialgruppen ist Stahl nahezu vollständig recycelbar. Dies ist jedoch mit einer Reihe von Problemen und erhöhten Kosten im Zusammenhang mit der Sortierung und Behandlung von Abfällen aus der Spänebearbeitung oder der Sortierung von Mehrwegabfällen verbunden. Ein bekanntes Problem der wiederverwertbaren

Stahlabfälle ist der steigende Gehalt an Kupfer und Tensiden. Nichteisenmetalle sind zu ca. 90% recycelbar, sie enthalten keine Füllstoffe (Kreide, Talk, Glas, etc.), die zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften zugesetzt werden. Duroplaste können nicht recycelt werden. Elastomere (Naturkautschuk, Gummi) können nicht recycelt werden, aber es werden zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten für sie gesucht. Für die nahe Zukunft sind Produkte, die das Recycling erleichtern, vielversprechend. Ihre Produktion muss mehreren **Grundregeln folgen**:

- Verwendung von Materialien, die recycelbar sind oder für einen anderen Zweck verwendet werden können,
- Minimierung der Anzahl der für die Herstellung eines Produkts verwendeten Materialien oder Verwendung von Materialien, die sich im Hinblick auf das Recycling gut kombinieren lassen,
- Nicht kombinationsfähige Materialien auf demontierbare Weise zu verbinden,
- Markiere Kunststoffe

Ein neuer Entwicklungstrend ist abbaubar, insbesondere organische Materialien, d.h. Kunststoffe, die in den natürlichen Stoffkreislauf eingebunden werden können. Im Abbauprozess werden hydrolytische, oxidative und photoabbauende Mechanismen eingesetzt, die dazu führen, dass die Molekülketten in kürzere Strukturen zerlegt werden, die leicht dem biologischen Abbau durch Mikroorganismen unterliegen. Abbaubare Kunststoffe können sich überall in der Natur zersetzen, vorzugsweise auf Deponien oder auf Meereshöhe. Der biologische Abbau ist bei der Kompostierung von abbaubaren Kunststoffen sehr effektiv, was zur Bildung von Humus führt. Kompostdünger kann verwendet werden, um einige landwirtschaftliche Nutzpflanzen anzubauen, die ein Grundrohstoff für die Herstellung von abbaubaren Kunststoffen sind, die auf der Kombination von pflanzlichen und synthetischen Rohstoffen basieren. Auf diese Weise wird ein geeignetes Polymermaterial in einen geschlossenen natürlichen Kreislauf eingebunden, ohne die Umwelt zu belasten. Einige Einschränkungen dieses Trends können sich aus seiner Kontraktion mit der Forderung nach einer langen Haltbarkeit eines Produkts ergeben.

Abbildung 3.4 zeigt einen typischen Materialzyklus. Ziel ist es, so wenig nicht verwertbare Abfälle wie möglich zu verwenden.





Das Recycling von Materialien (Produkten) hat eine Reihe von praktischen Formen, die von Rückgewinnungsverfahren reichen, die eine wiederholte Verwendung und Abnutzung eines Bauteils ermöglichen (z.B. Aufschweißen anderer Schichten auf Verschleißteile), über die Verwendung des Verschleißteils als Rohstoff für die Herstellung eines neuen Bauteils bis hin zur Energierückgewinnung (z.B. Verbrennung von Kunststoffen).

Ein klassischer Materialkreislauf mit unterschiedlichen Recyclingschritten im Produktionskreislauf (Verarbeitung von Primärabfällen im Primärkreislauf) oder im Produktgebrauch (Sekundärkreislauf - Regenerationsprozesse), Nutzung des Produkts nach dessen Ende (Tertiärkreislauf) zur Umwandlung des Produkts in ein anderes Material oder eine andere Energie.

4. Kennzeichnung von Materialien

Verschiedene Arten von Materialien werden häufig mit Markierungen bezeichnet, die entweder aus Buchstaben oder Zahlen oder einer Kombination aus beidem bestehen. In jedem Land, in dem es hergestellt wird, wird Stahl nach nationalen technischen Normen sowie nach Namen (Marken) einzelner Hersteller gekennzeichnet. Marken werden auf Stahl gesetzt, der in einem bestimmten Land noch nicht standardisiert ist, oder auf Stahl, der normalisiert wurde, um einen manufacturer's Ursprung zu erkennen. Die Kennzeichnungssysteme sind in jedem Land sehr unterschiedlich. In letzter Zeit haben jedoch einzelne EU-Länder zunehmend ein Kennzeichnungssystem nach europäischen Normen (EN) eingeführt, das den Prozess schrittweise vereinheitlicht. Dennoch enthalten technische Dokumentationen aus den oben genannten Ländern sehr oft Kennzeichnungen nach den nationalen technischen Normen[51],[52],[53],[71].

4.1. Einteilung und Kennzeichnung von Stählen nach europäischen Normen

Die Einteilung und Kennzeichnung von Stählen in Europa wird auf der Grundlage europäischer Normen (EN) vereinheitlicht. Alle CEN-Mitglieder sind verpflichtet, die Normen einzuhalten, wobei die Mitglieder nationale Normungsorganisationen aus 18 europäischen Ländern sind, nämlich Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Deutschland, Niederlande, Norwegen, Portugal, Österreich, Griechenland, Spanien, Schweden, Schweiz, Großbritannien und damit praktisch alle westeuropäischen Länder. Aber auch andere europäische Länder, darunter die Tschechische Republik und die Slowakei, übernehmen schrittweise die Normen. In der Tschechischen Republik werden sie als CSN EN ausgestellt und ersetzen die bestehenden CSN-Normen. Dadurch wird die EN zu europaweiten Normen, und es ist daher notwendig, dass man sich mit ihnen vertraut macht.

Die Einteilung der Stähle wird durch die europäische Norm EN 10020-88 (ČSN EN 10020-94) festgelegt, die definiert:

- der Begriff Formstahl,
- Stahlsorten nach chemischer Zusammensetzung und deren Aufteilung in unlegiert und legiert,
- Hauptqualitätsklassen von Stählen aufgrund ihrer Eigenschaften und ihres Verwendungszwecks.

Abkürzungen für Stahlkennzeichnungssysteme sind in der folgenden Norm aufgeführt: EN 10027-1-92 und deren Ergänzung IC 10-93 (Informationsrundschriften),

aufgenommen in ČSN als ČSN ECISS IC 10-95. Numerische Kennzeichnungssysteme sind in der EN 10027-2-92 (ČSN EN 10 027-2-95) angegeben.

Was die Umformstähle betrifft, so handelt es sich um Werkstoffe, deren Eisengehalt nach Gewicht größer ist als jedes andere Element, die weniger als 2 % C enthalten und andere Elemente beinhalten. Obwohl einige Chromstähle mehr als 2% C enthalten, wird die 2%-Marke allgemein als Grenzlinie zur Unterscheidung zwischen Stahl und Gusseisen angesehen.

Die Einteilung der Stähle nach ihrer chemischen Zusammensetzung in unlegiert und legiert basiert auf dem Mindestgehalt an Elementen (wie in der obigen Norm angegeben) oder den Lieferbedingungen. Wenn für die Elemente nur der Maximalwert des Gehalts in der Schmelze vorgeschrieben ist, sind 70 % des Wertes (außer Mn) für die Aufteilung der Stähle in unlegierte und legierte Stähle entscheidend. Was Mangan betrifft, so beträgt der Grenzwert 1,80 %, während die chemische Zusammensetzung des Ausgangsmaterials für mehrschichtige und plattierte Produkte entscheidend ist.

Unlegierte Stähle sind solche, deren bestimmende Gehalte an einzelnen Elementen in keiner Weise die in der Tabelle der Grenzwerte von Legierungselementen für die Einteilung von Stählen in unlegierte und legierte Stähle angegebenen Grenzwerte erreichen.

Legierte Stähle sind solche, deren Gehalt an Einzelementen mindestens in einem Fall die in der Tabelle der Grenzwerte von Legierungselementen für die Einteilung von Stählen in unlegierte und legierte Stähle angegebenen Grenzwerte erreichen oder überschreiten.

4.2. Unlegierte Stähle

4.2.1. Gängige Qualitätsstähle

Gängige Qualitätsstähle sind Stähle mit Qualitätsanforderungen, die keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen in der Produktion erfordern. Sie müssen jedoch folgende Bedingungen erfüllen: Sie sind nicht für die Wärmebehandlung bestimmt (wobei nach EN 10020 keine Art des Glühens, z.B. Normalglühen, als Wärmebehandlung angesehen wird); die Anforderungen, die für den unbearbeiteten oder normalisierten Glühzustand zu erfüllen sind, entsprechen den Werten der Tabelle der Grenzwerte für gängige Qualitätsstähle. Mit Ausnahme des Si- und Mn-Gehalts sind keine weiteren Gehalte an Legierungselementen vorgeschrieben,[12],[71].

Unlegierte Qualitätsstähle

Sie sind alle unlegierte Stähle, die nicht in den Qualitäten von konventionellen Qualitäts-

stählen und Edelstählen enthalten sind. Solche Stähle weisen keine vorgeschriebene gleichmäßige Wärmebehandlungsreaktion oder einen erforderlichen Reinheitsgrad in Bezug auf nichtmetallische Einschlüsse auf. Im Vergleich zu konventionellen Qualitätsstählen werden an sie höhere oder zusätzliche Anforderungen gestellt (z.B. Sprödbuchanfälligkeit, Korngröße, Umformbarkeit). Ihre Produktion erfordert daher besondere Sorgfalt.

Unlegierte Edelstähle

Im Gegensatz zu den vorgenannten Stahlsorten weisen unlegierte Edelstähle einen höheren Reinheitsgrad auf. Sie sind meist zur Verfeinerung oder Oberflächenhärtung bestimmt und zeichnen sich dadurch aus, dass sie auf eine solche Behandlung gleichmäßiger reagieren. Die gewünschten Eigenschaften werden durch die genaue Bestimmung der chemischen Zusammensetzung sowie der Produktions- und Prüfbedingungen - oft in Kombination und innerhalb enger Grenzen (hohe oder eng definierte Festigkeit oder Härtebarkeit in Verbindung mit hohen Anforderungen an Umformbarkeit, Schweißbarkeit, Zähigkeit usw.) - erreicht.

Zu den unlegierten Edelstählen gehören:

- Stähle mit Schlaganforderungen in einem verfeinerten Zustand;
- Stähle mit Anforderungen an eine getrübbte Schichttiefe oder Oberflächenhärte im getrübbten oder getrübbten oder freigegebenen Zustand;
- Stähle mit sehr niedrigen Anforderungen an den nichtmetallischen Gehalt (einschließlich Stähle, für die der Gehalt vereinbart werden kann);
- Stähle mit einem vorgeschriebenen Höchstgehalt von P und S = 0,020% in der Schmelze und 0,025% im Endprodukt (z.B. Drähte für hochbeanspruchte Federn);
- Stähle mit minimalen Schlagkräften von KV > 27 J an Längsproben bei -50 °C;
- Stähle für Kernreaktoren mit Cu = 0,10 %, Co = 0,05 %, V = 0,05 % für eine Fertigproduktanalyse;
- Stähle mit einer vorgeschriebenen minimalen elektrischen Leitfähigkeit von > 9 S m/mm²;
- ferritisch-perlitische Stähle mit einem vorgeschriebenen Mindestgehalt von C = 0,25 %, die wie bei unlegierten Stählen und zum Härten noch zulässige Gehalte an einem oder mehreren Mikrolegierungselementen, z.B. V, Nb, enthalten;
- Stähle für Spannbetonbewehrung.

4.3. Legierte Stähle

4.3.1. Legierte Qualitätsstähle

Diese Gruppe umfasst Stähle, die für ähnliche Zwecke wie unlegierte Qualitätsstähle bestimmt sind, aber um besondere Bedingungen für ihre Verwendung zu erfüllen, enthalten sie Legierungselemente in bestimmten Gehalten, die sie zu legierten Stählen machen. Diese Stähle sind im Allgemeinen nicht zum Verfeinern oder Oberflächenhärten bestimmt und umfassen:

- schweißbare Feinkornbaustähle für Stahlkonstruktionen, einschließlich Druckbehälter und Rohrleitungen, die die folgenden Anforderungen erfüllen:
 - für $t = 16$ mm ist die Streckgrenze von $Re < 380$ MPa vorgeschrieben,
 - Der Gehalt an Legierungselementen muss unter den Grenzwerten liegen, die in der Tabelle der Grenzwerte für die Aufteilung der legierten schweißbaren Feinkornbaustähle in legierte Qualitätsstähle und Edelstähle angegeben sind,
 - ein minimaler Stoßwert des KV-Anteils liegt bei -50 oC = 27 J,
- Stähle, die nur mit Si oder Si und Al legiert sind, mit besonderen Anforderungen an die magnetischen und elektrischen Eigenschaften;
- Stähle, die für die Herstellung von Schienen, Bürsten und Grubenstützen bestimmt sind;
- Stähle für warmgewalzte oder kaltgewalzte Flacherzeugnisse, die für eine fortgeschrittenere Kaltumformung bestimmt sind und einzeln oder in Kombination mit B, Nb, Ti, V oder Zr legiert sind (ähnlich wie Biphasenstähle);
- Stähle, die nur mit Cu legiert sind.

4.3.2. Legierte Edelstähle

Es handelt sich um Stähle, bei denen die geforderten Eigenschaften - oft in Kombination und innerhalb enger Grenzen - durch die Bestimmung präziser chemischer Zusammensetzungen sowie spezieller Produktions- und Prüfbedingungen erreicht werden. Dazu gehören insbesondere Edelstähle, hochwarmfeste und feuerfeste Stähle, Stähle für Wälzlager, Werkzeugstähle, Stähle für Stahlbau und Maschinenbau, Stähle mit besonderen physikalischen Eigenschaften usw.,[71].

4.3.3. Abkürzungen für das Stahlkennzeichnungssystem

Tabelle 4.4 zeigt ein spezifisches Stahlkennzeichnungssystem.

Registerkarte 4.4 Stahlkennzeichnungssystem nach EN 10027-1, EN 10 027-2 und IC-

10[71].

Kennzeichnung von Stahlnormen						
Grundsymbole (EN 10027-1)			Zusätzliche Symbole			
Buchstabe	Eigenschaften		Stähle		+	Stahlproduk- te
	Kohlen- stoffan- teil	Legie- rungs- ele- mente	Gruppe 1	Gruppe 2		

Kennzeichnung nach EN 10 027-1, Numerische Kennzeichnung nach EN 10 027-2

Gruppe 1 - Kennzeichnungen, die auf der Grundlage ihrer Verwendung und der mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Stählen entwickelt wurden.

Gruppe 2 - Kennzeichnungen, die auf der Grundlage der chemischen Zusammensetzung von Stählen entwickelt wurden.

A - Beispiele für Symbole für besondere Anforderungen

B - Beispiele für Symbole für Beschichtungsarten

C - Beispiele für Symbole für Verarbeitungsstatus

5. Numerische Symbole aus Stahl

Für alle Stähle, die in den europäischen Normen enthalten sind, wird die Nummer gemäß dem System in EN 10027-2 vergeben. Diese Nummern sind zusätzlich zur Stahlkennzeichnung nach EN 10027-1. Die für die Nummernvergabe zuständige Behörde ist das Europäische Registeramt in Düsseldorf. Ein Antrag auf Zuteilung einer Nummer für Stahl, der nach den nationalen Normen hergestellt wird, ist über eine zuständige Behörde einzureichen. Die Vorgehensweise bei der Erstellung numerischer Symbole ist in Tabelle 5.1 beschrieben.

Tabelle 5.1 Erstellen der numerischen Kennzeichnung[71]

X.	XX	XX(XX)
Nummer der Hauptwarengruppe 1 - Stahl 2 - 9 - kann anderen Materialien zugeordnet werden	Anzahl der Stahlklassen - gekennzeichnet gemäß der Tabelle der Stahlzahlen Seriennummer.	Die Seriennummer besteht derzeit aus zwei Ziffern, die restlichen Ziffern (in Klammern) sind für den zukünftigen Gebrauch bestimmt.

5.1. Armierung von Stahl in einigen EU-Ländern

Obwohl die EU-Mitgliedsländer allmählich ein einheitliches System der Stahlkennzeichnung nach den europäischen Normen verwenden, ist es immer noch möglich, auf Stahl zu treffen, der nach den Normen anderer Länder gekennzeichnet ist. Stahl wird in allen Ländern, die ihn produzieren, nach technischen Standards und auch von den einzelnen Produzenten gekennzeichnet. Der folgende Teil beschäftigt sich mit dem Kennzeichnungssystem nach den technischen Normen in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Spanien und Belgien. Es gibt auch bisher verwendete Symbole, die in der technischen Dokumentation noch zu finden sind.

Einzelne Stahlsorten sind durch Symbole aus Buchstaben, Ziffern oder Buchstaben und Ziffern gekennzeichnet. Für die Erstellung eines Kennzeichnungssystems werden verschiedene Kriterien ausgewählt. Die häufigste ist die chemische Zusammensetzung. In einigen anderen Systemen ist es z.B. die Zugfestigkeit und manchmal nur eine Seriennummer mit einem Symbol für Stahl, das entsprechend dem Verwendungszweck verwendet wird, etc. Die bei der Kennzeichnung von legiertem Stahl verwendeten Buchstaben bedeuten in der Regel hauptsächlich Legierungselemente. Wie aus Tabelle 5.3

ersichtlich, wurden in den einzelnen Ländern für die einzelnen Elemente unterschiedliche Buchstaben verwendet. Diese ist derzeit in den EU-Ländern vereinheitlicht.

Tabelle 5.3 Kennzeichnung von Stahl in ausgewählten EU-Ländern[71].

Element	Symbol	Deutschland	Frankreich	Italien	Spanien
Aluminium	Al	Al	A	A	Al
Boron	B	B	B	-	B
Carbon	C	-	-	-	-
cobalt	Co	Co	K	K	Co
Chromium	Cr	Cr	C	C	Cr
Copper	Cu	Cu	U	-	Cu
Manganese	Mn	Mn	M	M	Mn
Molybdenum	Mo	Mo	D	D	Mo
Nitrogen	N	N	Az	Az	N
Niobium	Nb	Nb	Nb	-	Nb
Nickel	Ni	Ni	N	N	Ni
Phosphorus	P	P	P	-	P
Lead	Pb	Pb	-	-	Pb
Silicon	Si	Si	S	S	Si
Titanium	Ti	Ti	T	T	Ti
Vanadium	V	V	V	-	V
Tungsten	W	W	W	-	W
Zirconium	Zr	Zr	Zr	-	Zr

Hinweis: Bei französischen und italienischen Stählen wurden die Symbole in der Tabelle bis Mitte der 80er Jahre verwendet. Derzeit entsprechen die verwendeten Symbole den deutschen.

5.2. Stahlkennzeichnung nach DIN-Norm

In Deutschland werden Stähle auf zwei Arten gekennzeichnet:

- Durch das numerische Symbol - dieses bestimmt die Werkstoffnummer,
- Durch Kombination von Zahlen und Buchstaben.

Bei letzterem Verfahren werden Stähle in mehrere Gruppen eingeteilt (siehe Tabelle

5.4).

Registerkarte 5.4 Klassifizierung von Stählen[71]

Nicht legierter (Kohlenstoff-)Stahl		Legierte Stähle		
Nicht wärmebehandelt, außer beim Normalglühen.	Für die Wärmebehandlung vorgesehen		Niedriglegierte Stähle - Gehalt an Legierungselementen bis zu 5 %.	Superlegierte Stähle - Gehalt an Legierungselementen über 5 %.
Gewöhnlicher Stahl (einschließlich niedrig legierter Stähle)	Qualitätsstahl	Edelstahl		

Kennzeichnung unlegierter, unveredelter Stähle

1. Symbol - Großbuchstabe zur Kennzeichnung des Gießverfahrens

- U - Stahl mit Rand
- R - getöteter oder halbtoter Stahl
- RR - vollständig abgetöteter Stahl

2. Symbol - Buchstaben St

1. Symbol - eine zweistellige Zahl, die die niedrigste Zugfestigkeit in kp/mm² angibt.
2. Symbol - Nummer der Gütegruppe; Stähle werden nach dem Gehalt an P oder S (oder C) in Gruppen eingeteilt, - die Qualitätsgruppennummer durch eine horizontale Linie von der Zahl mit der niedrigsten Festigkeit getrennt ist.

Die vier Symbole bilden die Grundmarkierung des Stahls. Dies kann durch zusätzliche Symbole ergänzt werden:

Vor dem 1. Symbol

- E - Stahl, hergestellt im Elektroofen
- M - Stahl hergestellt im offenen Herdofen
- Y - Stahl hergestellt im Konverter

Zwischen dem 1. und 2. Symbol

- Q - geeignet zum Schneiden
- Z - geeignet zum Ziehen von Stangen
- P - geeignet für Gesenkschmieden oder Schmieden mit Schmiedeanlagen
- Ro - bestimmt für die Herstellung von Rohren (nach dem letzten Symbol)

- U - geliefert nach dem Walzen
- N - geliefert im normal geglühten Zustand.

Kennzeichnung von unlegierten Qualitätsstählen

- Die Kennzeichnung dieser Stähle gibt den mittleren Kohlenstoffgehalt an.
 1. Symbol - Buchstabe C
 2. Symbol - Zahl, die den 100-fachen höheren Kohlenstoffgehalt angibt.

- Kennzeichnung von unlegierten Edelstählen
 1. Symbol - Buchstaben Ck
 2. Symbol - Zahl, die den 100-fachen höheren mittleren Kohlenstoffgehalt angibt.

- Kennzeichnung von niedrig legierten Edelstählen
 1. Symbol - Zahl, die einen 100fach höheren mittleren Kohlenstoffgehalt angibt.
 2. Symbol - chemische Symbole von Legierungselementen, die in aufeinanderfolgender Reihenfolge entsprechend ihrem mittleren Gehalt an Stahl angeordnet sind. Es werden nur die Elemente angegeben, die für die Kennzeichnung von Stahl oder für die Unterscheidung zwischen den einzelnen Stahlsorten wichtig sind.

3. Symbol - mittlerer Gehalt an Legierungselementen, ausgedrückt durch ein Vielfaches des tatsächlichen mittleren Gehalts gemäß Tabelle 5.5.

Tabelle 5.5 Gehalt an Legierungselementen, ausgedrückt durch ein Vielfaches des tatsächlichen mittleren Gehalts[71].

Legierungselemente	Koeffizient
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Cu, Mo, Ti, V	10
P, S, N	100

Kennzeichnung von superlegierten Stählen

Für diese Stähle wird der tatsächliche Gehalt der wichtigsten Legierungselemente angegeben. Im Gegensatz zu den niedrig legierten Stählen ist das erste Symbol der Buchstabe X.

1. Symbol - Buchstabe X
2. Symbol - Zahl, die einen 100-mal höheren mittleren Kohlenstoffgehalt angibt.
3. Symbol - chemische Symbole wichtiger Legierungselemente.
4. Symbol - Zahl, die den ungefähren mittleren Gehalt der Hauptlegierungselemente angibt.

5.3. Weltstahlproduzenten

In den letzten Jahren hat China 567,8 Millionen Tonnen Stahl produziert und damit fast die Hälfte der Produktion von world´s produziert. Der zweitgrößte Produzent ist Japan, gefolgt von Russland, hat die Vereinigten Staaten übertroffen. Die Stahlproduktion in Nordamerika sank um fast 34 % (23 % in Europa). Weitere Einzelheiten finden Sie in Tabelle 5.8 und Abbildung 5.12. [60]

Die Stahlindustrie beginnt sich mit einer allmählichen Erholung der Wirtschaft von world´s von der Krise zu erholen. Die Stahlproduktion stieg gegenüber dem Vorjahr um 30 % (auf 106,4 Mio. t). Im Vergleich zu den 117 Millionen Tonnen Stahl, die in der letzten Periode produziert wurden, ist die Produktion laut Reuters jedoch zurückgegangen. Laut Accenture-Analyst John Lichtenstein sollten die Weltproduktion und die Nachfrage nach Stahl wieder um ca. 10 % steigen und die Produktion damit auf das Niveau der Jahre 2008 - 2010 steigen. [71]

Mitglieder von WorldAutoSteel:

- Arcelor Mittal - Luxemburg
- Baoshan Iron & Steel Co. Ltd. - China
- China Steel Corporation - China - China
- Hyundai-Steel Company - Südkorea
- JFE Steel Corporation - Japan
- Kobe Steel, Ltd. - Japan
- Nippon Steel Corporation - Japan
- Nucor Corporation - USA
- POSCO - Südkorea
- SeverStal - Russland / USA
- Sumitomo Metal Industries, Ltd. - Japan
- Tata Steel & Corus - Indien, Großbritannien, Niederlande
- ThyssenKrupp Stahl AG - Deutschland
- USIMINAS - Brasilien
- United States Steel Corporation - USA
- Voestalpine Stahl GmbH - Österreich

Registerkarte 5,8 80 größte Stahlproduzenten der Welt im Jahr 2008, mmt - Produktion in Millionen Tonnen[60]

2008		2007			2008		2007		
Rank	mmt	Rank	mmt	Company	Rank	mmt	Rank	mmt	Company
1	103.3	1	116.4	ArcelorMittal	41	6.9	40	7.4	Jiuquan Steel
2	37.5	2	35.7	Nippon Steel ¹	42	6.9	41	7.3	Salzgitter ⁵
3	35.4	5	28.6	Baosteel Group	43	6.8	43	6.9	voestalpine
4	34.7	4	31.1	POSCO	44	6.5	39	7.8	Jianlong Group
5	33.3	NA	31.1	Hebei Steel Group	45	6.5	44	6.8	BlueScope
6	33.0	3	34.0	JFE	46	6.4	46	6.4	Metallinvest
7	27.7	11	20.2	Wuhan Steel Group	47	6.4	47	6.4	Beitei Steel
8	24.4	6	26.5	Tata Steel ²	48	6.1	60	5.2	Guofeng Steel
9	23.3	8	22.9	Jiangsu Shagang Group	49	6.1	51	6.1	SSAB
10	23.2	10	21.5	U.S. Steel	50	6.0	56	5.4	Erdemir
11	21.8	8	23.8	Shandong Steel Group	51	5.9	54	5.9	AK Steel
12	20.4	12	20.0	Nucor	52	5.9	52	6.1	Mechel
13	20.4	13	18.6	Gerdau	53	5.7	53	6.0	Nanjing Steel
14	19.2	15	17.3	Severstal	54	5.6	42	7.0	Ilyich
15	17.7	17	16.2	Evrz	55	5.4	61	5.0	Tonghua Steel
16	16.9	14	17.9	Riva	56	5.3	56	5.6	Xinyu Steel
17	16.0	NA	16.2	Anshan Steel	57	5.2	57	5.5	HKM ⁶
18	15.9	16	17.0	ThyssenKrupp ³	58	5.1	NA	4.5	Sanming Steel
19	15.0	18	14.2	Maanshan Steel	59	5.0	59	5.3	CSN
20	14.1	20	13.8	Sumitomo Metal Ind	60	4.7	63	4.6	HADEED
21	13.7	19	13.9	SAIL	61	4.5	68	4.4	Tianjin Tiantie Group
22	12.2	23	12.9	Shougang Group	62	4.4	72	4.0	Hebei Jinxi Group
23	12.0	21	13.3	Magnitogorsk	63	4.3	62	5.0	Steel Dynamics
24	11.3	30	9.7	Novolipetsk	64	4.3	69	4.1	Pingxiang Steel
25	11.3	26	11.1	Hunan Valin Group	65	4.3	65	4.5	Ezz Group
26	11.0	27	10.9	China Steel Corporation	66	4.0	71	4.1	Nisshin
27	10.4	22	13.1	Techint ⁴	67	4.0	70	4.1	Tianjin Steel
28	10.0	28	10.1	IMDRO	68	3.9	64	4.6	Zaporizhstahl
29	9.9	NA	11.6	Industrial Union of Donbass	69	3.8	NA	3.0	JSW Steel
30	9.9	29	10.0	Hyundai Steel	70	3.7	73	4.0	Lion Group
31	9.8	34	8.8	Baotou Steel	71	3.7	75	3.5	AHMSA
32	9.2	31	9.3	Taiyuan Steel	72	3.7	NA	3.0	ICDAS
33	9.0	33	9.0	Anyang Steel	73	3.6	NA	4.3	SIDOR ⁶
34	8.2	32	9.1	Metinvest	74	3.6	78	3.5	Hangzhou Steel
35	8.2	37	8.1	Celsa	75	3.5	NA	2.7	Hebei Jingye Steel
36	8.1	38	8.1	Kobe Steel	76	3.5	77	3.5	Chongqing Steel
37	8.0	35	8.7	Usiminas	77	3.4	NA	2.7	Commercial Metals
38	7.5	45	6.6	Panzhuhua Steel	78	3.4	74	3.6	Essar Steel
39	7.5	50	6.2	Rizhao Steel	79	3.4	79	3.5	Tokyo Steel
40	7.4	NA	7.6	Benxi Steel	80	3.1	NA	3.2	Vizag Steel

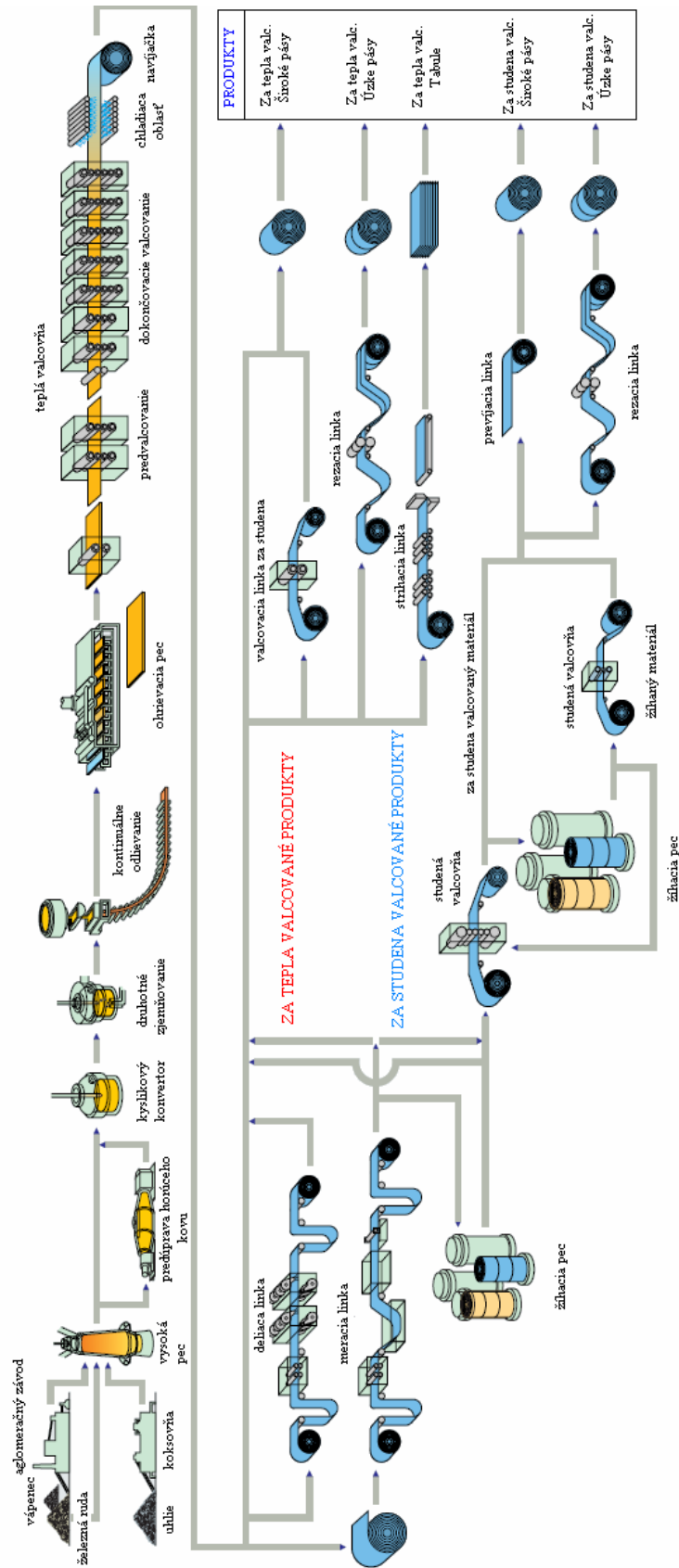


Abbildung 5.12 Produktionsprozesse von Stahlblechen[71]

6. Bewertung der Materialoberfläche

Die Oberfläche von Industrieteilen und Komponenten oder Werkstücken kann als physikalische Grenze zwischen einem Werkstück und der Umgebung beschrieben werden. Die tatsächliche Oberfläche des Werkstücks wird durch internationale Normen (ISO) als eine Reihe von charakteristischen Eigenschaften definiert, die physikalisch existieren und das Werkstück von der Umgebung unterscheiden. Es wird davon ausgegangen, dass die Werkstückoberfläche einen rein mechanischen Charakter hat. Tatsächlich hat die Oberfläche auch einen elektromagnetischen Charakter. [92]

Es gibt weitere Definitionen nach der ISO:

- Die reale mechanische Oberfläche ist eine Grenzfläche, die durch den Kugelkontakt mit dem Radius r bestimmt wird; die geometrische Lage der Zentren des idealen Kugelkontaktes, auch mit dem Radius r , rollt von der realen Oberfläche des Werkstücks ab.
- Die reale elektromagnetische Oberfläche ist ein geometrischer Ort der effektiven Reflexion der Punkte der realen Werkstückoberfläche, elektromagnetische Strahlung der angegebenen Wellenlänge.

Die Norm ISO 4287 ist derzeit die wichtigste gültige internationale Norm, die die Begriffe, Definitionen und Parameter in Bezug auf die Oberfläche festlegt. Diese Parameter entsprechen verschiedenen Teilen eines Signals, das durch die Berührung erzeugt wird. Die Parameter sind durch verschiedene Buchstaben gekennzeichnet:

P - Primärprofil,
R - Rauheitsprofil,
W - Welligkeitsprofil.

6.1. Materialoberflächenbewertung - Hauptparameter

Höhe des Profils $Z(x)$ - ist der Wert der Koordinate $Z(x)$ an beliebiger Stelle x . [92].
Lokale Steigung dZ/dX - es ist eine Steigung des Profils am Punkt x , Bild 6.1.

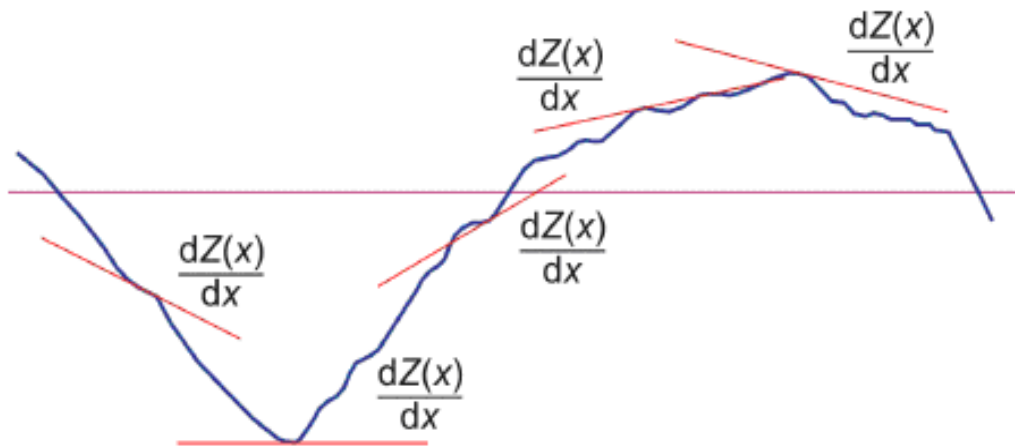


Abbildung 6.1 Lokale Neigung[92]

Profilspitze - sie ist ein Teil des Profils, der seine benachbarten Zwischensegmente mit der Mittellinie des Profils nach außen verbindet.

Profiltal - es ist ein Teil des Profils, das seine beiden benachbarten Zwischensegmente mit der Mittellinie des Profils nach innen verbindet.

Profilelement - es ist eine Spitze des Profils und des verbundenen Profiltals, Bild 6.2.

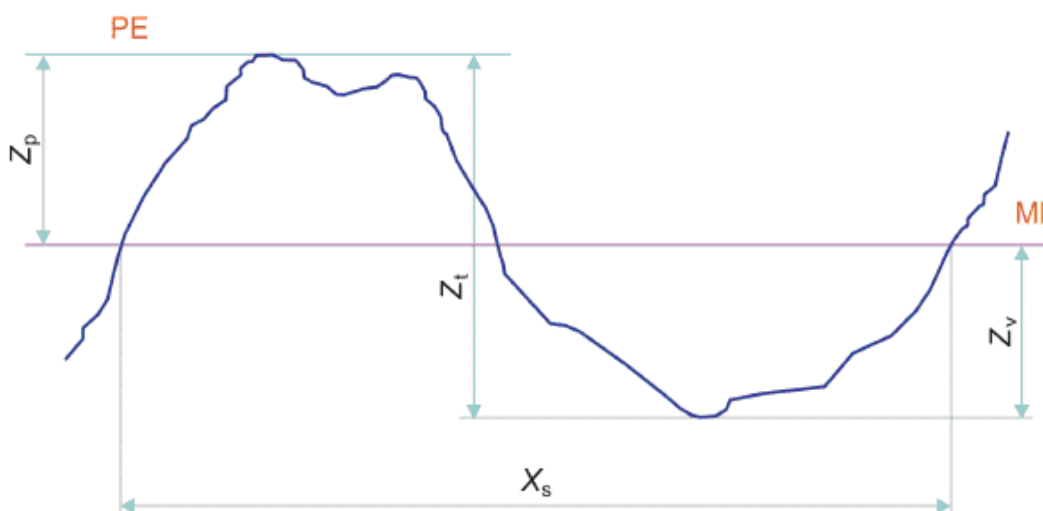


Abbildung 6.2 Profilelement[92].
PE - Profilelement, ML - Mittellinie

Höhe der Profilspitze Z_p - ist ein Abstand zwischen der Mittellinie des Profils und dem höchsten Punkt des Profils, Bild 6.2.

Die Tiefe des Profiltals Z_v - ist ein Abstand zwischen der Mittellinie des Profils und dem tiefsten Punkt des Profiltals, Bild 6.2.

Höhe des Profilelements Z_t - es ist die Summe aus Peakhöhe und Taltiefe, Bild 6.2.

Profilelementabstand X_s - es ist die Länge des Segments der Profilmittellinie, die das Profilelement enthält, Bild 6.2.

Materiallänge des Profils, Ebene c $MI(c)$ - es ist die Summe der Längen der Segmente, die durch einen Schnitt parallel zur Mittellinie des Profils auf der Ebene c durch Trennen der Profilspitzen in der Abtastlänge erzeugt werden, Bild 6.3,[92].

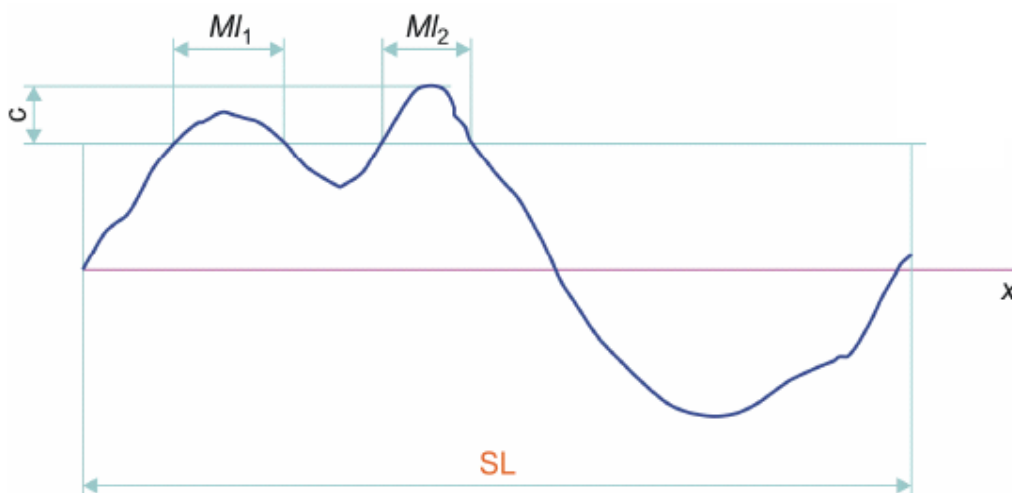


Abbildung 6.3 Materiallänge [92]
 $MI(c) = MI_1 + MI_2$, SL - Abtastlänge

Die Spitze des höchsten Profilpeaks P_p , R_p , W_p - es ist die höchste Höhe des Profilpeaks Z_p in der Abtastlänge, Abbildung 6.4. [92]

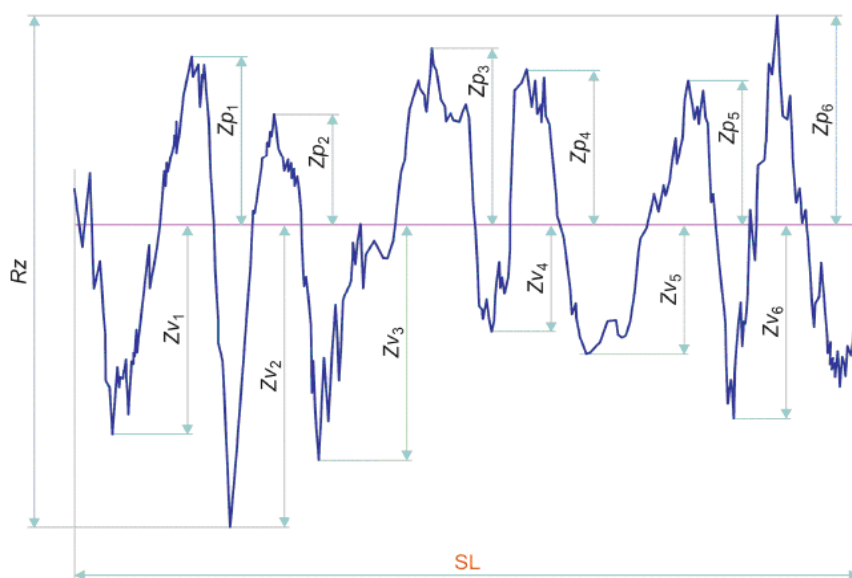


Bild 6.4 Abtastlänge (Beispiel eines Rauheitsprofils)[92]

Die Tiefe des tiefsten Tals in den Profilen Pv, Rv, Wv - das tiefste Tal des Profils Zv in der Abtastlänge.

Das höchste Profil Pz, Rz, Wz - es ist die Summe aus dem Gipfel des Gipfels Zp und dem tiefsten Tal des Profils Zv in der Abtastlänge.

Mittlere Höhe des Profilelements Pc, Rc, Wc - es ist der mittlere Wert der Höhen der Profilelemente Zt in der Abtastlänge.

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Zt_i \quad (6.1)$$

Die Gesamthöhe des Profils Pt, Rt, Wt - es ist die Summe aus der Höhe der höchsten Profils Spitze Zp und der Tiefe des Profiltals Zv in der bewerteten Länge. [92].

Die mittlere arithmetische Abweichung des Profils Pa, Ra, Wa - es ist der mittlere arithmetische Wert der absoluten Profilabweichungen Z(x) in der Abtastlänge.

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (6.2)$$

6.2. Parameter zur Beurteilung der 3D-Oberflächenrauheit

Amplitudenparameter, die bei der 3D-Auswertung verwendet werden, abgeleitet aus 2D-Parametern nach ISO 4287:

- Sa - mittlere arithmetische Abweichung der Oberfläche
- Sq - mittlere quadratische Abweichung der Oberfläche
- St - Gesamthöhe des Profils
- Sp - maximale Peakhöhe
- Sv - maximale Talsohle
- Sz - zehn Punkte Oberflächenhöhe
- Ssk - Schiefe der Höhenverteilungskurve
- Sku - Schärfe der Oberflächenhöhen

Flächen- und Volumenparameter:

- Smr - Verhältnis in einer bestimmten Tiefe (flächenhaftes Materialverhältnis) - es

wird mit einem Grenzwert und Referenzdaten angegeben.

- Sdc - Höhendifferenz der Flächenschnitte - bestimmt durch zwei Grenzwerte (in %). [9]
- Smvr - der Mittelwert des Leerraumradius - das Volumen des Oberflächenmaterials, erhalten durch Messung des Raumes zwischen der imaginären horizontalen Ebene, die in der größten Tiefe des Oberflächenprofils und den Oberflächenpunkten gefaltet ist.
- Smmr - Mittelwert des Materialvolumenanteils - das Gesamtvolumen der Materialoberfläche, erhalten durch Messung des Raumes zwischen der imaginären horizontalen Ebene, die in der größten Tiefe des Oberflächenprofils gefaltet ist, und den Oberflächenpunkten,[12],[92].

Räumliche Parameter:

- SPc - Anzahl der Peaks auf der Oberfläche - Dichte der Peaks zwischen zwei Niveaus c1 und c2, wobei c1 und c2 Begrenzungsebenen sind, die in Bezug auf die Mittelebene 0 definiert sind. c1 muss niedriger als c2 sein. Der Peak wird nur berücksichtigt, wenn er c2 überschreitet und unter c1 übergeben wird. Der Parameter wird ausgedrückt durch die Anzahl der Peaks pro . [9]
- Sds - Gipfeldichte - Anzahl der Gipfel pro mm. Die Gipfel werden aus Spitzen abgeleitet. Ein Gipfel ist ein Gipfel, der höher als 8 nächstgelegene Punkte ist.
- Sal - Autokorrelationslänge - Länge entsprechend der schnellsten Abnahme der Autokorrelationsfunktion. Sie gibt die Anzahl der Wellenlängen des Oberflächenprofils an. Hohe Werte deuten auf hohe Wellenlängen hin.
- Str - Textur-Seitenverhältnis - Verhältnis des kürzesten Tropfens zur größten Länge. Wenn sich der Wert 1 nähert, ist die Oberfläche isotrop, wenn sie nahe 0 ist, ist die Oberfläche anisotrop.
- Std - Texturrichtung - bestimmt die Hauptwinkelrichtung der Oberflächenstruktur. Es ist sinnvoll, wenn der Wert kleiner als 0,5 ist. Die Winkelrichtung wird in Grad zwischen -90° und 90° ausgedrückt.
- Sfd - fraktale Dimension der Oberfläche - es zeigt die Formkomplexität des Oberflächenprofils unter Verwendung der Theorie der fraktalen Geometrie an. Die Oberflächenabmessung variiert zwischen zwei Werten für eine planare Oberfläche und drei Werten für eine komplexe Form einer Ebene. Für einige Oberflächenformen kann die fraktale Dimension nicht bestimmt werden,[92].

Hybride Parameter - kombinieren sowohl Amplituden- als auch räumliche Parameter:

- Sdq - quadratische Neigung der Oberfläche
- Ssc - arithmetisches Mittel der Gipfelkrümmung
- Sdr - entwickeltes Grenzflächenverhältnis

Funktionsparameter - charakterisieren funktionale Aspekte der Oberfläche:

- Sk - Kernrauigkeitstiefe - erweiterter 2D-Parameter Rk
- Spk - reduzierte Peakhöhe - erweiterter 2D-Parameter Rpk
- Svk - reduzierte Taltiefe - erweiterter 2D-Parameter Rvk
- Sr1 - oberes Materialverhältnis
- Sr2 - niedrigeres Materialverhältnis
- Sa1 - oberer Bereich (eines Dreiecks, entsprechend den Spitzen)
- Ss2 - unterer Bereich (eines Dreiecks, entspricht den Tälern)

Parameter Rk

- Sbi - Oberflächenlagerindex
- Sci - Kernflüssigkeitsrückhalteindex
- Svi - Talwasserrückhalteindex

Parameter SURFSTAND

- Vm(h) - Materialvolumen in einer bestimmten Tiefe
- Vv(h) - Hohlraumvolumen in einer bestimmten Tiefe
- Vmp - maximales Materialvolumen
- Vmc - Volumen des Materials des Kerns
- Vvc - Kernhohlraumvolumen
- Vw - Talhohlraumvolumen

Ebenheitsparameter für die nach dem Verfahren der kleinsten Quadrate geglättete Oberfläche, die durch einen Tiefpassfilter gefiltert wird:

- FLTt - Ebenheitsabweichung von Spitze zu Tal
- FLTp - Spitzenwert zu Referenzplanheitsabweichung
- FLTv - Bezug auf die Abweichung der Talebenheit
- FLTq - Effektive Abweichung der quadratischen Planheit[12],[92].

6.3. Vergleich von 2D und 3D

Derzeit wurden 2D- und 3D-Methoden zur Oberflächenbewertung entwickelt und verbessert. In Bezug auf die 2D-Auswertung sind die Parameter Ra und Rz wegen der einfa-

chen Messung der mittleren Rauheitswerte, internationaler Normen oder wegen ihrer Übersichtlichkeit und der Tatsache, dass die Messtechnik von Anfang an auf diesen Parametern basiert, nach wie vor weit verbreitet. Für die Rauheitsmessung sind die Parameter R_a , R_z nach wie vor sehr wichtig, aber bei der Bewertung der funktionellen Eigenschaften praktisch nicht anwendbar.

Der Grund dafür ist, dass verschiedene Oberflächen den gleichen Rauheitswert haben können, aber die Voraussetzungen für die Ausführung der Funktion unterschiedlich sind, z.B. kann das obere Profil (Bild 6.16) die Gleitlagerfunktion besser erfüllen als das untere Profil. [10]

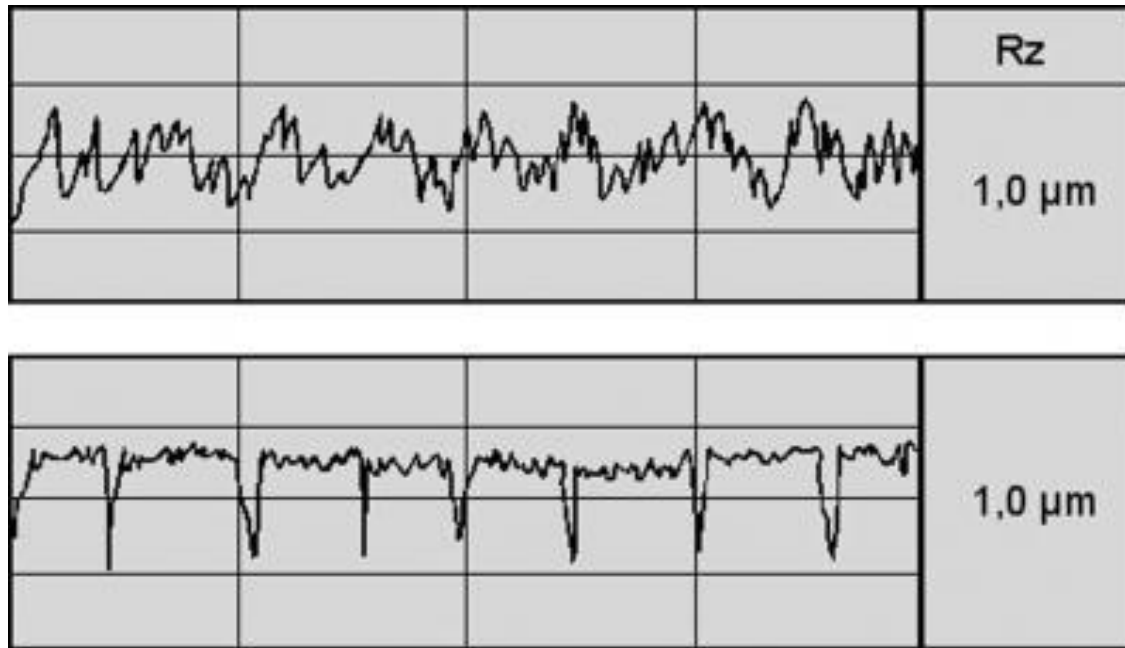


Bild 6.16 Messen mit Kontaktprofilometer - R_z -Werte mit verschiedenen Funktionen[7].

2D-Parameter können keine Auskunft über die Verschleißrate der einzelnen Oberflächentexturen, über die Fähigkeit, Schmiermittel zurückzuhalten oder über die Anfälligkeit für Rissbildung durch die Bearbeitung geben. Für eine vollständige Anwendung benötigen einige Parameter andere Informationen als nur den numerischen Wert, wie z.B. die Richtung der Bearbeitungsmarkierungen. Der Parameter, der diese Richtung beschreibt, ist mehr ein Vektor als ein Skalar. Für zwei Oberflächen mit Spitzen gleicher Höhe, von denen eine Oberflächenspitze nach rechts und die andere nach links zeigt, sind die Parameter R_a , R_q gleich. Die Richtung der Relativbewegung ist jedoch aufgrund der belasteten Kanten unterschiedlich. Wenn diese Oberflächen in eine falsche Richtung montiert werden, kann dies zu Fehlfunktionen führen. Es ist wichtig, nicht nur auf eine Oberfläche zu achten, sondern auf das gesamte System, das aus mehreren Oberflächen besteht. Die Bewertung der Oberflächenfunktion kann daher nicht vom Gesamtsystem getrennt werden. [10]

Der Hauptnachteil der 2D-Auswertung ist die Tatsache, dass die Ergebnisse begrenzt

sind und von der Position des Regelabschnitts abhängen. Die Messung zeigt oft eine Position mit stärkeren Höhenabweichungen der Oberfläche. Es ist jedoch nicht möglich, den Charakter und das Ausmaß größerer Abweichungen, die Mängel oder Oberflächenschäden darstellen, anhand nur eines Profils zu bewerten. Die 3D-Messung liefert viel mehr Daten, was die Objektivität der Oberflächenbewertung erhöht. Die axonometrische Auswertung ermöglicht es, das Ausmaß der stärkeren Abweichungen zu spezifizieren.

In der Praxis empfiehlt es sich, bei der Analyse eines größeren Oberflächenfehlers eine 2D- und 3D-Auswertung zu kombinieren. Im Falle einer 3D-Analyse eines tiefen Risses, dessen Tiefe nicht genau gemessen werden kann, empfiehlt es sich, ein Profil aufzuzeichnen, das es ermöglicht, die Rissmaße zu bewerten und seine Form detailliert aufzuzeichnen, was es ermöglicht, detailliertere Informationen zur Identifizierung des Risseffekts auf die Oberflächenfunktion Abbildung 6.17 zu erhalten.

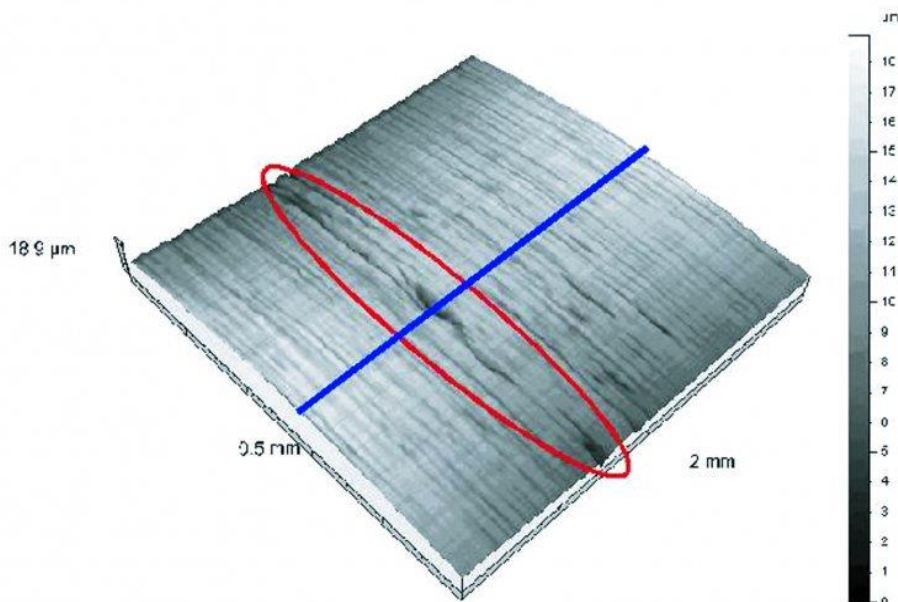


Abbildung 6.17 3D-Darstellung der Oberfläche mit Rissbildung mit markiertem nachfolgenden 2D-Abschnitt[10].

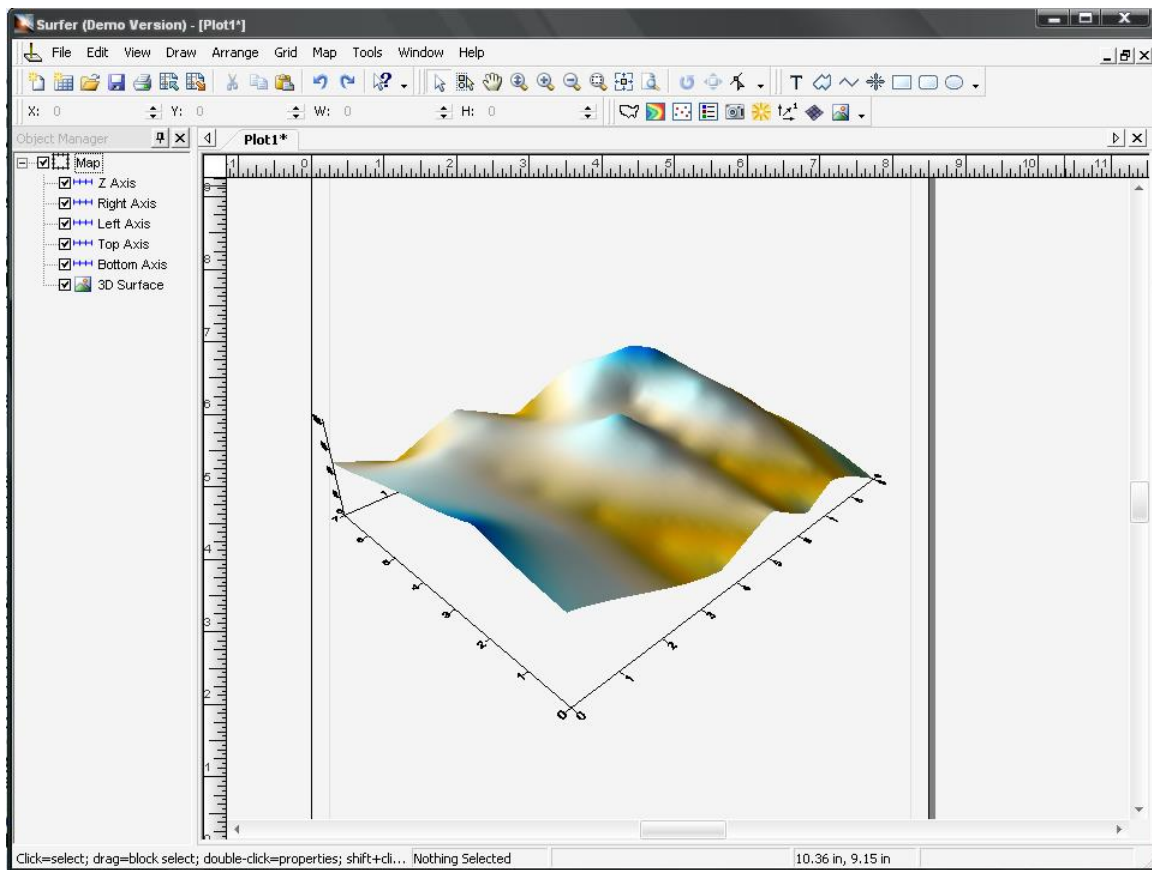


Abbildung 6.27 Beispiel einer 3D-Ansicht der Oberfläche im Programm Surfer 9[92].

7. Messgeräte und Programme

Bei der Entwicklung neuer Produkte legen die Hersteller von Messgeräten großen Wert auf die Verarbeitung der Messdaten. Die Messgeräte werden daher mit modernen Spezial-Computerprogrammen geliefert. Diese Programme sind oft nur mit einem konkreten Messgerät kompatibel und umgekehrt. Solche Lösungen sind charakteristisch für die Systeme, in denen die Software nicht nur die gemessenen Daten auswertet, sondern auch Steuerungs- und Überwachungsfunktionen übernimmt.

7.1. Optosurf QS 500

Optosurf QS 500 (siehe Abbildung 6.18) verwendet Lichtstreuungsmethoden. Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, die Oberfläche mit einem Lichtfleck mit einem Radius von 0,9 mm zu beleuchten. Reflektiertes Streulicht wird von einem Sensor erfasst. Die Streuung wird statistisch ausgewertet und durch Berechnung wird der optische Parameter der Rauheit S_0 erhalten, der in etwa dem Parameter R_a entspricht. Die Messung ist unabhängig von der Oberflächenreflexion, d.h. dunkle Oberflächen haben den gleichen Rauheitswert wie helle Oberflächen. Es ist möglich, alle Oberflächen von Funktionsteilen zu messen. Der Sensor ist in der Lage, auch unter ungünstigen Betriebsbedingungen zuverlässig zu messen und auch Vibrationen zu verarbeiten.



Abbildung 6.18 Messen mit dem Sensor QS 500 [7]

Diese Messung wird als zusätzliche Messung zu herkömmlichen Kontaktmessverfahren verwendet, aber ihre Messgeschwindigkeit ist viel höher - über 1000 Messungen pro Sekunde. Die Messgeschwindigkeit ist jedoch nicht der Hauptparameter, der die

Lichtstreuungsmethode vor den Kontaktmethoden setzt. In der Praxis ist es oft notwendig, die Richtung der Markierungen nach der Bearbeitung zu kennen oder das Bearbeitungsverfahren zu erkennen. Ein Beispiel kann z.B. das Schleifen und Finish von Kurbelwellen im Motorenbau sein. Das Ergebnis des Schleifens ist die Struktur von Gravuren mit Profilspitzen. Während der Endbearbeitung werden die Spitzen teilweise entfernt, was die Funktionseigenschaften deutlich verbessert, Reibung und Verschleiß reduziert. Das Lichtstreuungsverfahren ermöglicht die Unterscheidung von geschliffenen und fertigen Oberflächen, während es bei Kontaktverfahren zu einer Überlappung kommt, bei der diese Oberflächen nicht voneinander unterschieden werden können. [7]

7.2. Software SW 500

Der Sensor QS 500 wird mit der Software SW 500 (Bild 6.19) verwendet, die zur Erfassung der gemessenen Daten bestimmt ist, er betreibt den Sensor und speichert die Daten in einer SQL-Datenbank.

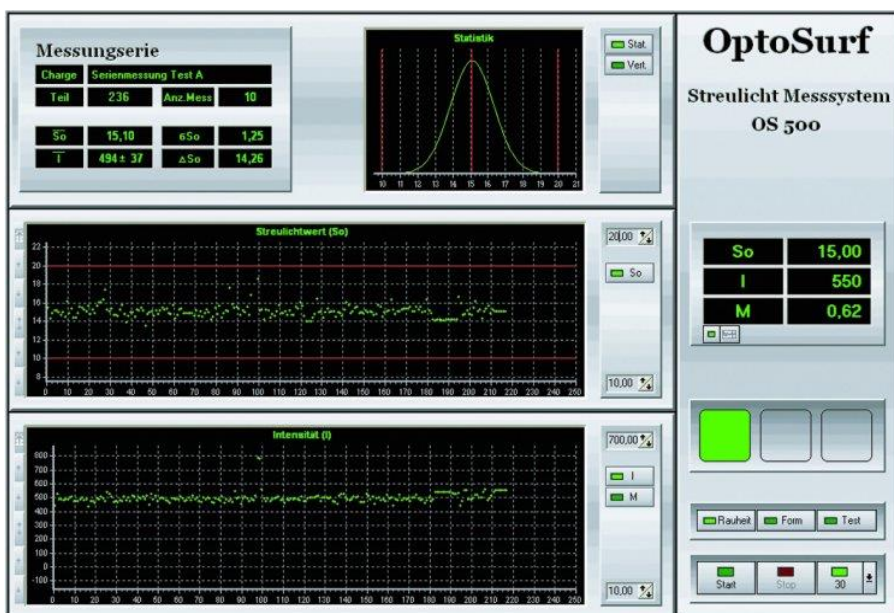


Abbildung 6.19 SQL-Datenbank zur Speicherung der Messergebnisse[7].

Die Festlegung von Grenzwerten ermöglicht eine vollautomatische Produktion, bei der die die Grenzwerte überschreitenden Komponenten automatisch entsorgt werden. Einfache Statistikfunktionen berechnen aus den gemessenen Werten die mittlere Abweichung, die Standardabweichung und die maximale Abweichung. Auch die Statistik aller in der Produktion eingesetzten Werkzeuge wird geführt, so dass der Produktionsprozess dokumentiert werden kann. Der Streulichtsensor steuert den Produktionsprozess und informiert kontinuierlich über den Maschinenstatus.

Dies ermöglicht die Erkennung von Problemen wie Kühlungsfehler, Lagerschäden, Verschleiß des Produktionswerkzeugs usw.

7.3. Taylor Hobson Talysurf CLI

Messsystem zur schnellen räumlichen Messung und Auswertung der Oberfläche mit hoher Auflösung. Es ermöglicht die Messung in drei Achsen durch berührungsloses und berührungsloses Verfahren und die anschließende Analyse der Daten aus einem Profilschnitt und einem Oberflächenschnitt. Bei der Kontaktmethode wird ein induktiver Berührungssensor verwendet, während es bei der kontaktlosen Methode ein Laserdreieckstaster und ein konfokaler CLA-Sensor ist. Diese Verfahren bieten nahezu unbegrenzte Möglichkeiten zur Messung der Oberflächenstruktur in Bezug auf Qualität, Genauigkeit und Materialart. Das Gerät ist mit einem automatischen Vorschub in allen Achsen mit einer Geschwindigkeit von nicht mehr als 30 mm/s ausgestattet. Im Falle eines kontaktbehafteten Induktionsmessgerätes beträgt es 3 mm / s. Für die Messung ist es möglich, vier verschiedene Messköpfe zu verwenden. Obwohl dieses Gerät speziell für die 3D-Messung konzipiert ist, enthält es auch mechanische und analytische Werkzeuge für eine komplexe 2D-Messung. Dadurch kann ein Gerät zur Überwachung von Forschung und Entwicklung, zur Durchführung von Studienanalysen, Routineinspektionen oder zur Verwaltung von Produktionsprozessen verwendet werden (Bild 6.20). [9]

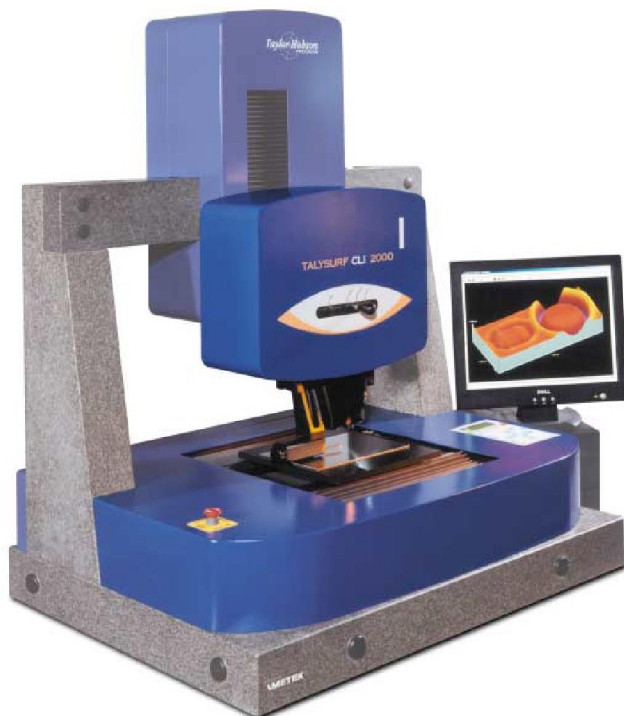


Abbildung 6.20 Talysurf CLI 2000[92].

7.4. Talymap

Die Talymap wurde entwickelt, um räumliche Merkmale aus den Daten der berührungslosen und berührungslosen Messung zu verarbeiten. Es ermöglicht, die überwachte Oberfläche auf mehrfache Weise zu betrachten, z.B. in axonometrischer Projektion mit einem optionalen Winkel, Farbauflösung und einstellbarer Vergrößerung eines Teils oder der gesamten Oberfläche. Es ist möglich, in drei Achsen zu messen, die Umkehrung des Anzeigeprofiles oder die Simulation des Oberflächenverschleißes. Einer der größten Vorteile dieses Programms ist seine Vielseitigkeit bei der Verarbeitung der Daten verschiedener Messgeräte (Bild 6.21).

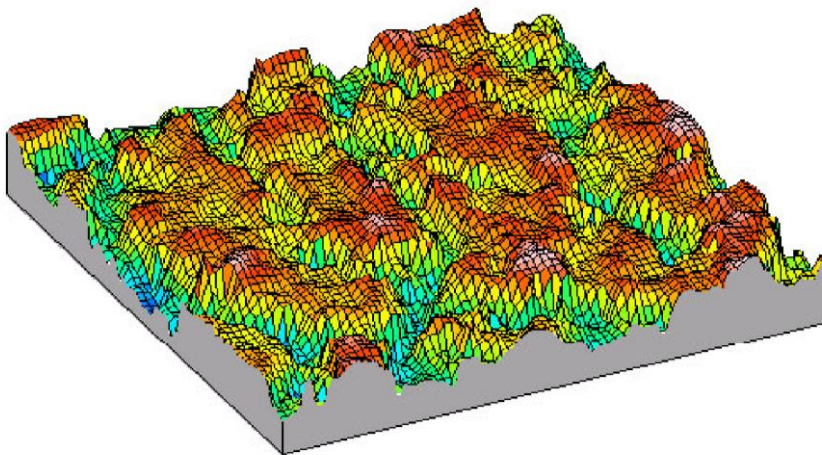


Abbildung 6.21 Oberfläche im Programm Talymap[92].

Zur räumlichen Auswertung von Oberflächen, Amplitudenparametern, Parametern, die die Materialoberfläche beschreiben, Parametern, die sich auf Unebenheiten beziehen, und Volumenparametern. Insgesamt ist es möglich, 120 Parameter in der 2D-Ansicht und 40 Parameter in der 3D-Ansicht zu verwenden. Im 3D-Profil ist es möglich, ein Profil auszuwählen, das mit 2D-Funktionen ausgewertet werden kann.

Es gibt auch eine Reihe von fortschrittlichen spezialisierten Modulen, die zur Auswertung von Oberflächenparametern und Eigenschaften bestimmt sind, die für eine bestimmte Funktion wichtig sind, wie z.B. Verschleiß, Beschädigung, Oberflächenerosion.

7.5. Modul Texturierte Oberflächen

Dieses Modul ist für die 3D-Auswertung einer komplexen Materialoberfläche vorgesehen. Es berechnet Flächen und Volumen, maximale und minimale Spitzenhöhen und Tälertiefen in Abhängigkeit von der vom Benutzer festgelegten Höhenbegrenzung. Die Daten sind wichtig für die Bestimmung der Fähigkeit der Oberfläche, die Schmierung aufrechtzuerhalten, oder für die Vorhersage der Haltbarkeit der Funktionsoberfläche bei Verschleiß. [9]

Zur grafischen Darstellung der Ergebnisse wird die Funktion "Coloured Binary Image" verwendet, die mit 256 Farben eine Höhenskala oder mit 2 Farben eine Fläche in die Bereiche über und unter der gewählten Höhenbegrenzung unterteilt.

7.6. Talymap Bekleidung

Es wird für die 3D-Analyse von Oberflächenverschleiß verwendet. Es ermöglicht die 3D-Datenfilterung vor der Analyse mit der Gaußschen Methode, der Spline-Methode, der Dreipunktmethode oder der Methode der kleinsten Quadrate. Die Filtration besteht in der Entfernung kurzer Wellenlängen, was die Stabilität und Wiederholbarkeit verbessert. Der Oberflächenverschleiß wird durch einen Vergleich der Oberfläche vor dem Verschleiß und nach dem Verschleiß bewertet (Bild 6.22).

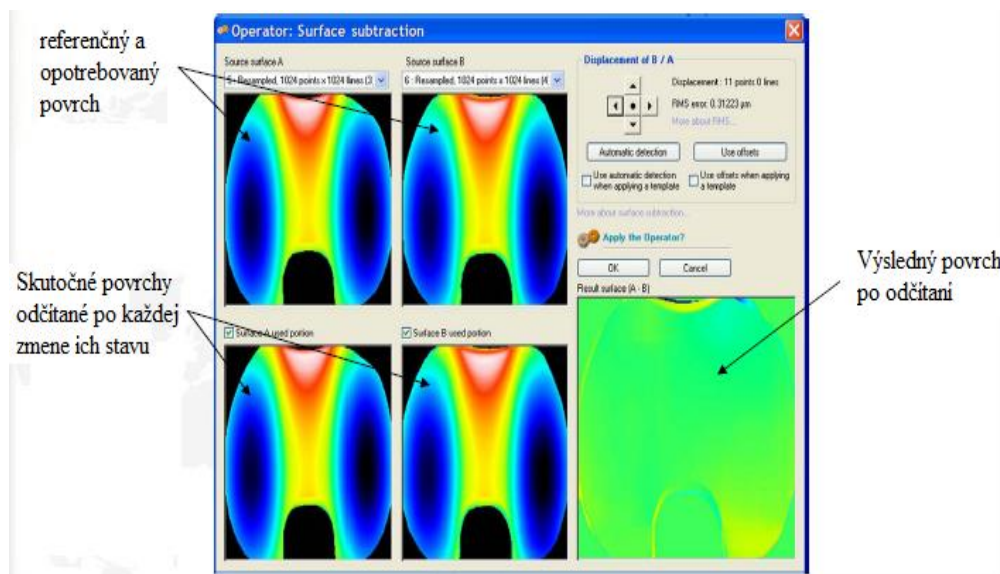


Abbildung 6.22 Analyse des Oberflächenverschleißes mit Talymap Wear[92].

Legende: referečný a opotrebovaný povrch - Referenz und abgenutzte Oberfläche, skutočné povrch odčítané po každej zmene ich stavu - tatsächliche Oberflächen nach jeder Zustandsänderung entfernt, výsledný povrch po odčítaní - endgültige Oberfläche

7.7. Programm zur Analyse der Stufenhöhe

Sie dient zur Bestimmung und Bewertung der vertikalen Abmessungen, z.B. Dicke dünner Schichten, Elevation oder geringe Tiefe. Diese Analyse ist wichtig für die Anwendung oder Entfernung von Material mit mechanischen, chemischen oder anderen Methoden. Das Programm kann die durchschnittliche Höhe eines ausgewählten Bereichs oder die Differenz zwischen den Höhen mehrerer Bereiche berechnen. Bei der Auswahl von zwei Punkten einer Fläche bestimmt er deren horizontale Entfernung, gegenseitige Höhe und Neigung. Für die Berechnung können mehrere Methoden verwendet werden, einschließlich der interaktiven manuellen Methode.

7.8. Twist-Programm

Es ist ein Programm zur Analyse der räumlichen Oberflächenstruktur, das zur Beurteilung von Rauheit und Rundheit verwendet wird. Nach Erhalt einer ausreichenden Datenmenge wird eine räumliche Oberflächenkarte erstellt. Die Texturanalyse selbst gliedert sich in Filtration und Bestimmung der Parameter. Durch die Analyse der dominanten Wellenlänge werden der Filtertyp und die Größe der Grenzwellenlänge bestimmt. Wenn keine dominante Wellenlänge gefunden wird, wird ein Gaußscher Filter verwendet und der Anwender wählt seine eigene Grenzwellenlänge. Nach der Auswertung der dominanten Wellenlänge werden die Daten mit dem ZBP-Filter (Zero Band-Pass) verarbeitet. Der Wert der Grenzwellenlänge ist gleich der dominanten Wellenlänge (Bild 6.23). [92]

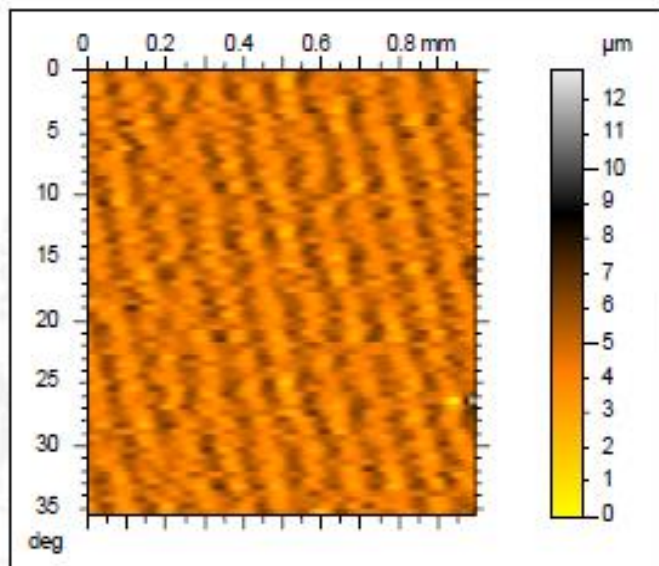


Abbildung 6.23 Beispiel einer gefilterten Oberfläche[92].

Die Oberflächenprofilaten werden dann durch die Fourier-Transformation verarbeitet, die folgende Grundparameter auswertet: Wellenlänge der Oberflächenbahnen in axialer Richtung, Frequenz und Richtung der Spuren in Umfangsrichtung, durchschnittliche Amplitude. Aus den Basisparametern werden weitere Parameter abgeleitet: der Mittelwert aus Querschnitt, Steigung und Winkel. Die analysierte Oberfläche kann in der Axonometrie betrachtet werden (Bild 6.24).



Abbildung 6.24 Axonometrisches kontinuierliches Bild der bearbeiteten Oberfläche[92].

7.9. Mitutoyo Surftest SJ-400

In diesem Fall ist es ein manuelles Werkzeug zur Messung von Rauheit, Welligkeit und Primärprofil. Es verfügt über ein eigenes Display zur Anzeige der ausgewählten Parameter. Es ermöglicht auch die automatische Kalibrierung, die Einstellung der Neigung, die Umkehrmessung und die Einstellung der Messbedingungen. Es enthält integrierte Statistikfunktionen zur Auswertung, aber es besteht auch die Möglichkeit einer Anbindung an Surfpak-SJ (Auswertesoftware - Bild 6.25).



Abbildung 6.25 Surftest SJ-400[92].

7.10. Software Surfpak SJ/SV/PRO

Surftest wird mit der Software Surfpak SJ/SV/PRO geliefert, die die Steuerung des Gerätes, die Auswertung der Messwerte und die Verarbeitung der Dokumentation gewährleistet. Dieses Programm ist in der Lage, eine Vielzahl von Rauheitsparametern zu verarbeiten, die in den Normen DIN, ISO, JIS, Motif, etc. enthalten sind. Es ermöglicht verschiedene Arten von grafischen Analysen, SD-Topographie, Darstellung eines Profilquerschnitts, etc. (Abbildung 6.26).

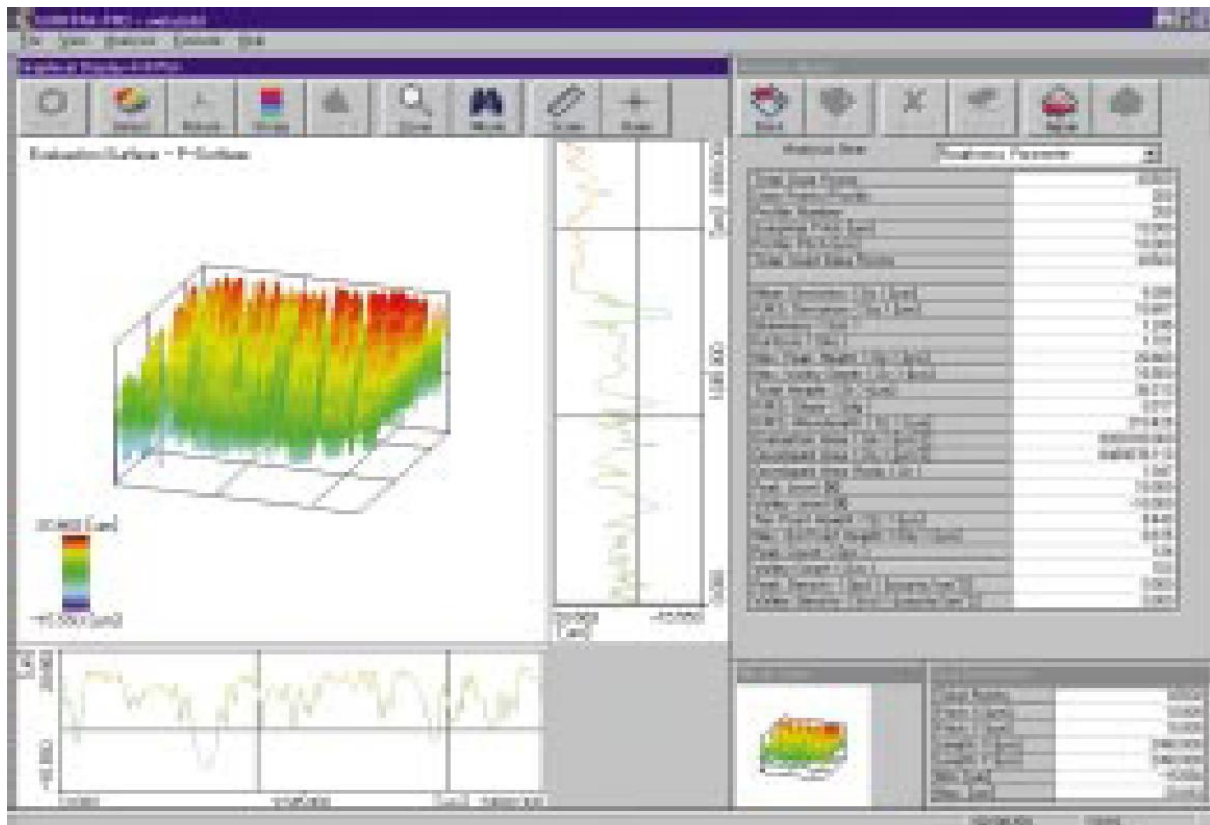


Abbildung 6.26 Beispiel für die Auswertung der Messung durch Surfpak-PRO[92].

7.11. Surfer 9 Programm

Im Gegensatz zu den bisherigen Programmen ist der Surfer 9 weder mit einem Messgerät verbunden noch ist er in erster Linie für die Auswertung der Rauheits- oder Welligkeitsparameter konzipiert. Es kann XYZ-Datum in Übersichtskarten, 3D-Oberflächenkarten, 3D-Wireframes, Gelände, Postkarten, Vektorkarten oder Grundkarten umwandeln. Es ist auch in der Lage, verschiedene Abschnitte, Flächen oder Volumen zu berechnen. Eingabedaten können aus einer Vielzahl von verschiedenen Arten von Mengen importiert werden, Bild 6.27.

8. Materialien in der laufenden Produktion von Automobilen I.

Neue Trends in der Entwicklung des Automobils bestehen in folgenden Prinzipien: Erhöhung der Sicherheit der Besatzung, Senkung des Kraftstoffverbrauchs, Erhöhung des Komforts und der Bequemlichkeit. Bei der Entwicklung der Mittelklassewagen geht der Trend der Wirtschaftsstudien dahin, den Kraftstoffverbrauch von 2,6 l/100 km im Jahr 2020 zu erreichen. Die Erfüllung solcher widersprüchlichen Anforderungen ist nur durch eine Reduzierung des Fahrzeuggewichts möglich. Während das Gewicht eines Mittelklassewagens 1960 etwa 2400 kg betrug, waren es im Jahr 2000 etwa 1450 kg. Dieser Wert soll bis 2020 870 kg betragen, was gegenüber 2000 einer Verringerung um 40 % entspricht.

Die Analyse des aktuellen Mittelklassewagengewichts ergab folgende proportionale Gewichtsverteilung der Grundgruppen und Ausstattungen: Karosserie - 26 %, Fahrwerk 23 %, Motor 21 %, flüssige Medien 5 %, elektrische Ausrüstung 8 % und andere 17 %.

Das Durchschnittsgewicht eines europäischen Autos betrug im Jahr 2000 1100 kg mit folgender Materialzusammensetzung: Stahl und Gusseisen (62 %), Nichteisenmetalle (Al, Mg) und deren Legierungen (8 %), Kunststoffe (10 %), Gummi (5 %), Glas (3 %), Textil- und Schallschutz (4 %), Flüssigkeiten und andere Materialien (8 %).

Aus den Analysen geht hervor, dass 62 % des Gesamtgewichts auf Stahl oder Gusseisen entfallen und 30 % der Produktionskosten eines PKWs Materialkosten sind. Daher konzentriert sich die Aufmerksamkeit der Automobilkonstrukteure vor allem auf die Reduzierung des am weitesten verbreiteten Materials - Stahl, das die Grundlage für die Strukturteile (Karosserie, Fahrwerk, Motor usw.) bildet. Chrysler hat die Absicht, in Zukunft das Gewicht seiner Autos zu reduzieren: Karosserie (-50 %), Fahrwerk (-50 %), Motor (-10 %), Kraftstoffsystem (-55 %).

Die Metallurgie reagierte auf die Herausforderungen der Wirtschaftsstudien sowie auf die Anforderungen der Automobilkonstrukteure und -fertiger durch Forschung und Entwicklung von Materialien und Technologien in zwei grundlegende Richtungen: die Entwicklung von Materialien und Technologien zur Herstellung von leichten Karosserien auf Aluminium-/Stahlbasis (Ultralehký). Da der globale Trend hinsichtlich des notwendigen Energieverbrauchs für primärmetallurgische Produktionstechnologien zugunsten der Forschung und Entwicklung von Stahlwerkstoffen geht, wird sich der folgende Teil auf diesen Trend konzentrieren.

Die Entwicklung von Automotive, Automatisierung von Produktionsprozessen konzentriert sich auf die Reduzierung des Gewichts, die Erhöhung der Sicherheit und Korrosionsbeständigkeit von Karosserien bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktionseffizienz und Senkung der Produktionskosten. In Bezug auf die Konstruktions- und

Gebrauchseigenschaften des resultierenden Produkts besteht das Ziel darin, die Dicke des Blechs zu reduzieren, d.h. seine Festigkeit und dynamische Belastbarkeit zu erhöhen. Derzeit können die produzierten Stahlbleche und -bänder aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden:

- **nach dem Verfahren der Stahlerzeugung:**
 - Guss,
 - Strangguss,
 - Vakuumgießen

- **nach dem Walzverfahren:**
 - Warmwalzen,
 - Kaltwalzen,

- **durch Oberflächenschutz:**
 - nicht oberflächenbehandelt,
 - oberflächenbehandelt,

- **durch Nutzung:**
 - strukturell,
 - geeignet für die Umformung,
 - für die Verpackung
 - für die Maschinenbauindustrie

- **durch Festigkeit und plastische Eigenschaften, chemische und strukturelle Zusammensetzung:**
 - texturierte, kohlenstoffarme, zinkgekühlte Stähle (LC, ULC, SULC),
 - interstitielle freie Stähle (IF-Stähle),
 - brennhärtbare Stähle (BH-Stähle),
 - Dualphasenstähle (DP-Stähle),
 - komplexe Phasenstähle (CP-Stähle)
 - hochfeste niedriglegierte Stähle (HSLA)
 - Umwandlungsinduzierte Plastizitätsstähle (TRIP-Stähle)
 - martensitische Stähle (M-Stähle)[71]

Stahlbaustoffe für die Automobilindustrie werden ständig weiterentwickelt. In den 80er Jahren wurden die klassischen hochfesten kaltgeformten Stähle (ZStE) durch phosphorlegierte Stähle ZStE-P und Dualphasenstähle (DP) ergänzt. Mitte der 80er Jahre wurden IF-Stähle (interstitiell frei) und BH-Stähle (bake hardening) entwickelt. Seit den 90er Jahren werden auch CP-Stähle (komplexe Phase) entwickelt, sowie RA-Stähle (Restaustenit) mit TRIP-Effekt, SULC-Stähle (Super Ultra Low Carbon) und MS-Stähle (Martensit). [71], [82].

- Die Anforderungen an Stahlbleche für die Automobilindustrie können in den folgenden Punkten zusammengefasst werden:
 - Festigkeit und plastische Eigenschaften
 - Technologische Verformbarkeit
 - Schweißbarkeit
 - Korrosionsbeständig
 - Geeignete Oberfläche für die Oberflächenbehandlung
 - Geringes Gewicht

8.1. Kohlenstoffarme Stahlbleche und -bänder zum Kaltziehen

Stahlbleche werden sowohl durch Warm- als auch durch Kaltwalzen hergestellt. In Bezug auf die verarbeitete Menge dominieren kaltgewalzte Stahlbleche. Sie sind in Form von Coils und Blechen mit einer Dicke von 0,20-2,00 mm erhältlich. Je nach Grad der Umformbarkeit werden kaltgewalzte Bleche in fünf Gruppen eingeteilt[76]:

- MT - handelsüblicher Qualitätsstahl (CQ)
- ST - Ziehen von Qualitätsstahl (DQ)
- HT - Ziehen von Qualitätsstahl (DQ)
- VT - Tiefziehqualitätsstahl (DDQ)
- ZT - extra tiefgezogener Qualitätsstahl (EDDQ)

Eine neue Klassifizierung von kohlenstoffarmen Stahlblechen für die Automobilindustrie SAE J2329 ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Stahlbleche in der Tabelle sind nach dem Herstellungsverfahren klassifiziert: warmgewalzter Stahl und kaltgewalzter Stahl, zusammen mit den minimal erforderlichen Eigenschaften, die die Streckgrenze und den Mindestwert des Kaltverfestigungsexponenten n darstellen.

Tabelle 1 Klassifizierung von kohlenstoffarmen Stahlblechen für die Automobilindustrie[71]

Old AISI Description		New SAE Classification		Property
Hot Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 180-290 MPa n value: 0.16 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J2339	Grade 3	Yield: 180-240 MPa n value: 0.18 min.
Cold Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 140-260 MPa n value: 0.16 min.
DQ	Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 3	Yield: 140-205 MPa n value: 0.18 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 4	Yield: 140-185 MPa n value 0.20 min.
EDDQ	Extra Deep Drawing Quality	SAE J2329	Grade 5	Yield: 110-170 MPa n value 0.22 min

Eine neue Klassifizierung anderer Stahlbleche für die Automobilindustrie nach SAE J2340 ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Klassifizierung anderer Stahlbleche für die Automobilindustrie[71]

Old AISI Description	New SAE Classification
Cold Rolled Steels	
Dent Resistant (DR)	SAE J2340 Grades 180A, 210A, 250A, 280A Dent Resistant Non Bake Hardenable
Bake Hardenable (BH)	SAE J2340 Grades 180B, 210B, 250B, 280B Dent Resistant Bake Hardenable
High Strength Solution Strengthened	SAE J2340 Grades 300S, 340S High Strength Solution Strengthened
High Strength Low Alloy (HSLA)	SAE J2340 Grades 300X,Y; 340X,Y;380X,Y High strength low alloy 20X,Y;490X,Y;550X,Y
High Strength Recovery Annealed	SAE J2340 Grades 490R, 550R, 700R, 830R High Strength Recovery Annealed
Dual Phase (DP) (HSS)	SAE J2340 Grades DH/DL 500-1000 MPa Tensile Ultra High Strength Dual Phase
Martensitic Grade M, HSS	SAE J2340 Grade M 800-1500 MPa Tensile Ultra High Strength Low Carbon Martensite

8.2. Physikalische und metallurgische Eigenschaften von Stahl für die Automobilindustrie

Die Eigenschaften von dünnen kohlenstoffarmen Stahlblechen und -bändern hängen von ihrer chemischen Zusammensetzung, dem Verfahren zur Stahl- und Blechherstellung ab. Nicht nur die mechanischen Eigenschaften, sondern auch die Dickentoleranz und die Oberflächengüte der Stahlbleche werden hohen Anforderungen gerecht. Diese Faktoren beeinflussen die strukturellen, mechanischen und technologischen Eigenschaften von duktilen dünnen Stahlblechen.

Duktile dünne Stahlbleche werden aus kohlenstoffarmen Stählen (bis zu 0,1 %) hergestellt. Neben Kohlenstoff enthalten die Stähle weitere Elemente, die aufgrund eines unvollkommenen metallurgischen Prozesses in den Stahl eindringen oder dem Stahl gezielt zugesetzt werden, um die Blecheigenschaften zu verbessern (Mn, Si, P, S, Cu, Ni, Cr, Mo, O, N, Ti, etc.)[90],[91].

Die Struktur von duktilem kohlenstoffarmem Stahl besteht aus Ferrit und Zementit. Ferrit im Binärsystem Fe - C ist durch eine feste Kohlenstofflösung in Eisen δ gebunden. Ferrit in Stählen löst jedoch auch andere Elemente auf und erzeugt so eine Substitutionslösung (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W) oder eine feste Additionslösung (N, H, O). Ferrit ist eine weiche Gefügestufe; daher sind kohlenstoffarme Stähle (ferritisch) weich, mit niedriger Streckgrenze, niedriger Festigkeit und hohen Dehn- und Kontraktionswerten. Dies sind Stähle mit hoher Bruchfestigkeit und guten plastischen Eigenschaften. Die plastischen Eigenschaften dieser Stähle hängen von der Größe und Form des ferritischen Kornes, der Menge und Verteilung der Verunreinigungen ab. Bei Stahlblechen ist die ferritische Korngröße ein Kompromiss zwischen der Plastizität und Glätte der Produktoberfläche.

8.3. Interstitielle freie Stähle (IF-Stähle)

IF-Stähle werden zum Tiefziehen und für Bauteile mit komplexer Form verwendet. Sie zeichnen sich durch hohe plastische Eigenschaften aus und sind daher für das Tiefziehen geeignet. Eine hohe Duktilität wird durch den geringen Gehalt an Zwischengitteratomen, die Größe des ferritischen Kornes und die beim Rekristallisationsglühen erzeugte Struktur erreicht (Abbildung 1)[71].

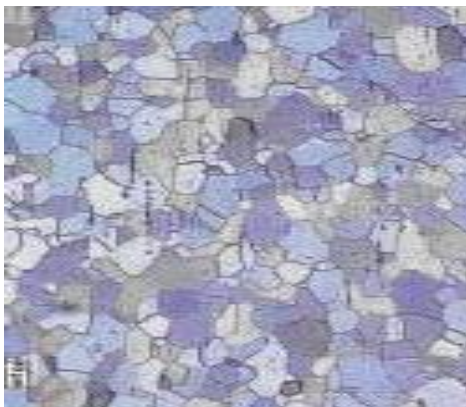


Abbildung 1 IF-Stahlkonstruktion[92]

In diesen Stählen sind Zwischengitterelemente (Kohlenstoff, Stickstoff) an Carbid-, Nitrid- oder Carbonitrid-Bildelemente (Al, Ti, Nb, V) gebunden. Die Eliminierung von interstitiellen Elementen durch Bindung an Elemente, die bei der Verarbeitung von Flüssigstahl eine hohe Affinität aufweisen, führt zu einer hervorragenden Kompressibilität der Bleche beim Endpressen. Freier Kohlenstoff in IF-Stählen sowie in Stählen, die freien Kohlenstoff enthalten (z.B. phosphorierter Stahl), kann z.B. für die Kalthärtung (BH) verwendet werden[71],[76],[82].

In Bezug auf die Metallurgie erfordern IF-Stähle eine hohe Reinheit und die Kontrolle der Einschlussmorphologie. Aufgrund der nicht vorhandenen interstitiellen Verstärkung haben sie eine geringe Streckgrenze (unter 160 MPa) und sind vollständig alterungsbeständig.

8.4. Kalthärtender (BH)-Stahl

Bei Blechen zur Herstellung von komplex geformten Pressteilen durch Kaltpressen und der anschließenden Oberflächenbehandlung durch Lackieren sind technologisch gute Kompressibilität und Gleichmäßigkeit der Eigenschaften auch im Hinblick auf die Produktnutzeigenschaften (Steifigkeit und Konstruktionssicherheit), hohe Festigkeit und dynamische Belastbarkeit gefordert. Diese Anforderungen werden durch BH-Stahlpressteile[71] weitgehend erfüllt.

BH-Stähle vor dem Pressen haben niedrige Werte der Streckgrenze und der hohen Plastizität. Nach dem Pressen und Auftragen des Lackes kommt es während des Backens zu einer verformungsbedingten Wärmealterung, die zu einer Erhöhung der Streckgrenze um 30 - 70 MPa und einer Erhöhung der Festigkeit führt. Auf diese Weise ist das Blech resistenter gegen Verformung. Um den BH-Effekt zu ermöglichen, müssen insbesondere physikalische und metallurgische Bedingungen erfüllt sein. Die BH-Effektkontrolle durch Kontrolle des in Ferrit gelösten Kohlenstoffs erfordert, dass Stickstoff vollständig an

AlN gebunden ist. Die Fällung von AlN wird durch Al und N-Gehalt, Wicklungstemperatur, Rekristallisationsglühen und die zugehörigen Elemente gesteuert (Abbildung 2).

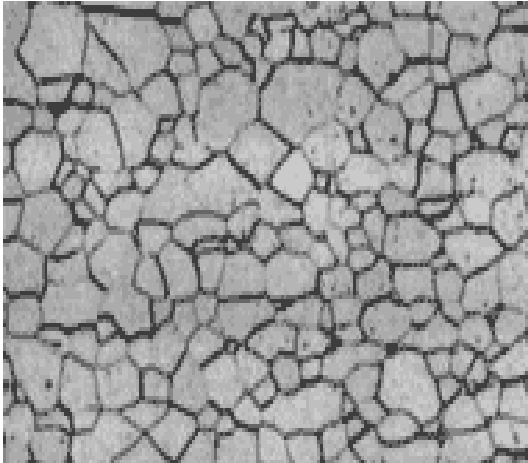


Abbildung 2 BH-Stähle Struktur[92]

8.5. HSLA-Stähle

Niedrig legierte Stähle (HSLA Duktile Low Alloy) mit ferritisch-perlitischem Gefüge sind Feinkornstähle mit niedrigem Gehalt (max. 0,15 %) an einem Element der Kombination aus Al, Ti, Nb und V. Die Wirkung von niedrig legierten Elementen besteht in ihrer Affinität zu Kohlenstoff und Stickstoff bei Löslichkeit von Carbiden, Nitriden und Carbonitriden in Austenit und Ferrit und Verstärkungsmechanismen (Abbildung 3)[71].

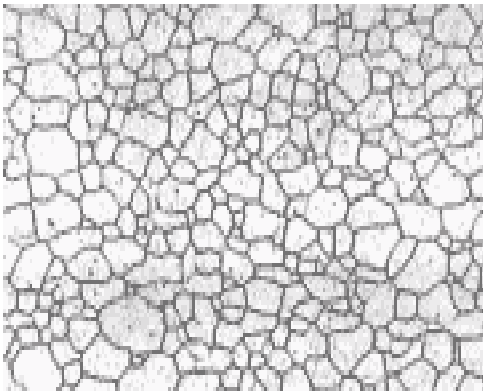


Abbildung 8.3 HSLA-Stahlkonstruktion[92]

Niedrig legierte Stahlbleche zeichnen sich durch eine feine Struktur und eine höhere Kaltschweißbarkeit aus. Niedriglegierte Stähle weisen signifikante Korngrenzen (Kornverfeinerung) und Dispersionsverstärkung von Zwischenverbindungen (Carbid-, Nitrid- und Carbonitridverbindungen) von Mikrolegierungselementen auf.

9. Materialien in der aktuellen Automobilindustrie II.

9.1. Mehrphasenstähle (CP, TRIP-Stähle)

Stähle mit Transformation Induced Plasticity (TRIP) sind ein vielversprechender Werkstoff im Automobilbau. Sie haben gute Festigkeitseigenschaften und eine ausgezeichnete Duktilität bei der Kaltumformung. Während ihrer plastischen Verformung wird Austenit in verformungsinduziertes Martensit umgewandelt, das wesentlich zur Gesamtmaterialfestigkeit beiträgt. Dadurch wird die Verformung allmählich gleichmäßig über die gesamte verformte Zone verteilt und verhindert so die lokale Ansammlung der Verformung an kritischen Stellen. Ebenso kann die Bildung von verformungsinduzierten martensitischen Platten die Rissbildung verlangsamen und damit die Ermüdungseigenschaften verbessern (Abbildung 1)[71].

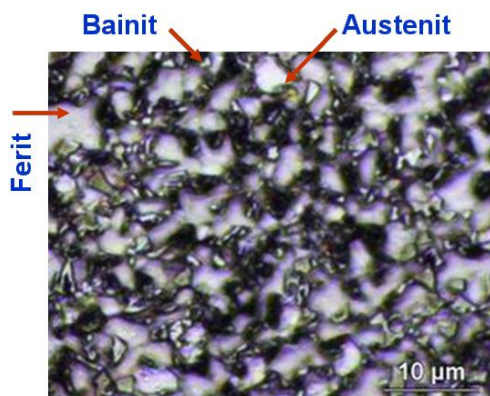


Abbildung 1 TRIP-Stähle Struktur[92]

9.2. Dualphasenstähle (DP-Stähle)

Die Struktur der derzeit produzierten Dualphasenstähle, die für die Stahlblechherstellung zur Kaltumformung verwendet werden, besteht meist aus Ferrit und Martensit. Der empfohlene Kohlenstoffgehalt in diesen Stählen liegt nicht über 0,13%. Andere Elemente sind Mn, Si, Mo, Cr oder V (Abbildung 2).

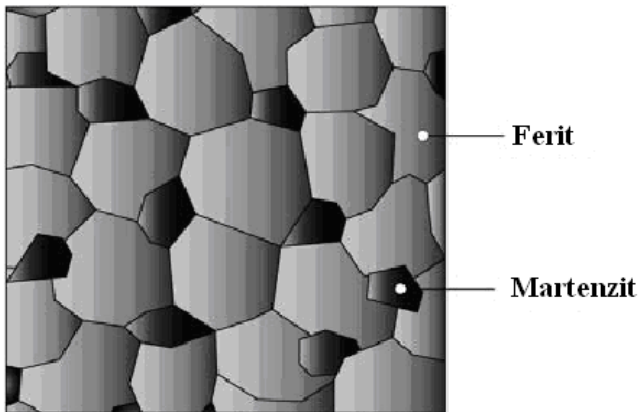


Abbildung 2 DP-Stahlstruktur[92]

Zweiphasige ferritisch-martensitische Stähle werden im interkritischen Glüh- oder kontrollierten Kühlverfahren hergestellt. Das Verfahren des interkritischen Glühens besteht aus dem Erwärmen des Materials nach dem Kaltwalzen auf die Temperatur im Intervall von $AC_1 - AC_3$ mit einer erforderlichen Haltezeit von 5-15 Minuten und dem anschließenden kontrollierten Abkühlen mit überkritischer Geschwindigkeit, das die erforderlichen Volumenanteile an Ferrit und Martensit gewährleistet,[71]. Ein weiteres Verfahren zur Herstellung von zweiphasigen ferritisch-martensitischen Stählen besteht darin, die technologischen Bedingungen des Warmwalzverfahrens anzupassen oder die chemische Zusammensetzung dieser Stähle so zu wählen, dass die erforderliche zweiphasige ferritisch-martensitische Stahlstruktur unmittelbar nach dem Warmwalzen erreicht wird.

9.3. Maraging-Stähle

Der Name ist eine Kombination aus zwei aufeinanderfolgenden Phasenumwandlungen, die eine Verstärkung (martensitisch und alterungsbedingt) bewirken. Es handelt sich um kohlenstoffarme Stähle mit dem Kohlenstoffgehalt $C < 0,03\%$, $Mn < 0,1\%$, $Si < 0,1\%$, $S < 0,01\%$, $P < 0,01\%$. Sehr unerwünschte Zusatzstoffe sind C, S, N, da ihr Vorhandensein die Dichte der Versetzungserdigungspunkte aus Carbiden und Nitriden erhöht, die hauptsächlich an den Korngrenzen abgegeben werden. Dies führt zu verminderten plastischen Eigenschaften. Ein ähnlicher Effekt wird durch Einschlüsse auf Schwefelbasis verursacht (Abbildung 3)[71].

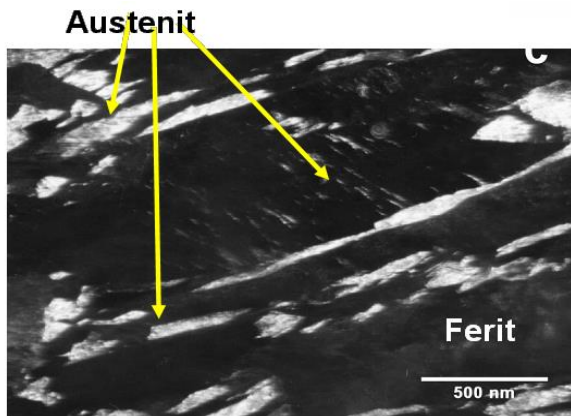


Abbildung 3 Struktur von martensitischen Stählen[92]

Diese Bedingungen gewährleisten die Auflösung der Partikel in Austenit und gleichzeitig die Entspannung der durch die vorherige Verarbeitung verursachten potenziellen Spannungen. Das Gefüge besteht nach dem Härten aus nahezu kohlenstofffreiem Nickel-Martensit, das sich durch hohe Plastizität, relativ geringe Härte (30-35 HRC), Zugfestigkeit um 1000 MPa und gute Bearbeitbarkeit auszeichnet. Während des Alterungsprozesses werden Dispersionspartikel aus intermetallischen Phasen, die hauptsächlich Mo und Ti enthalten, im Martensit ausgeschieden. Sie ermöglichen es, die Härte von bis zu 62 HRC zu erreichen. Diese Stähle haben viele wichtige technologische Eigenschaften, die sich wie folgt charakterisieren lassen: hohe Dimensionsstabilität bei der Wärmebehandlung und im Langzeitbetrieb; geringer Verfestigungsexponent und gute Plastizität, die es ermöglicht, alle Arten der Warm- und Kaltumformung mit hohem Verformungsgrad zu verwenden; gute Zerspanbarkeit insbesondere im gehärteten Zustand; Eignung für verschiedene Aushärtungsverfahren; gute Schweißbarkeit.

9.4. Warmgewalzte Bleche

Ihre übliche Dicke beträgt 2 - 15 mm, selten 1,5 - 25 mm. Die Bruchlast kann sich im Bereich von 5 - 50 % ändern. Neben der hohen Festigkeit bei statischer und dynamischer Belastung sind weitere geforderte Eigenschaften eine gute Kaltkompressibilität und Schweißbarkeit. Sie sind aus Bau- und Ziehstahl gefertigt.

Konstruktionsstahlbleche werden für tragende Elemente mit geringeren Anforderungen an die Kaltumformbarkeit verwendet. Der Festigkeitsbereich und die plastischen Eigenschaften werden durch die folgenden Werte bestimmt: $R_{e\ min} = 200 - 360\ MPa$, $R_m = 300 - 650\ MPa$, $A_{5\ min} = 22 - 26\ \%$.

Ziehbleche werden zur Herstellung von Bauelementen verwendet; eine sehr gute Kaltkompressibilität ist erforderlich. Der Bereich ihrer mechanischen Eigenschaften wird durch die folgenden Werte bestimmt: $R_{P0.2\ max} = 250 - 360\ MPa$, $R_m = 250 - 450\ MPa$, $A_{5\ min} = 29 - 45\ \%$ (Tabelle 1).

Tabelle 1 Warmgewalzte hochfeste Stähle für die Automobilindustrie[71]

Mechanismus spevnenia		Hlavné prvky	Úroveň Rm [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie
Tuhým roztokom (TR)		Si – Mn No Nb+V	490-590	Dobrá ohýbatelnosť	Konštrukčné komponenty rámových dielov Podvozkové časti
Precipitáciou (P)		Nb, Ti, V Nb + Ti Nb + Ti + Cr	490 – 780	Ťažný typ, Vysoké výťažky s obrubou	Konštrukčné komponenty Ráfy kolies Konzoly
Transformáciou (T)	F + M	Si – Mn Si (Cr,P,Mo)	540 – 980	Vysoké predĺženie, nízka medzera sklzu Nízky pomer $R_{p0,2}/R_m$	Podvozkové časti Disky kolies
	F + B	Si – Mn Si – Mn – Nb Cr, Ti + Cr	440 – 780	Vysoké predĺženie	Závesy Držiaky motora
	M + B	Si, Ti	590 – 1100	Vysoká pevnosť	Podvozkové časti Nárazová výstuž dverí
	RA	C, Si Si – Mn Al – Mn (Cr, P)	590 – 980	TRIP typ Vysoké predĺženie Dobrá rovnováha medzi pevnosťou a ťažnosťou	Crash zóny (nárazníky, podvozkové časti, stĺpiky, nárazové výstuže dverí)

Legende: Mechanismus spevnenia - Härtemechanismus, tuhým roztokom - durch feste Lösung, precipitáciou - durch Niederschlag, transformáciou - durch Transformation, hlavné prvky - Hauptelemente, úroveň - Ebene, charakteristika - Eigenschaften, dobra ohýbatelnosť - gute Biegebarkeit, ťažný typ - Zeichnung, vysoké výťažky s obrubou - hohe Zeichnungen mit Beschnitt, vysoké predĺženie - hohe Dehnung, nízka medzera sklzu - geringe Rutschgefahr, nízky pomer - niedrige Ration, vysoká pevnosť - hohe Festigkeit, TRIP Typ - TRIP Typ, dobra rovnováha medzi pevnosťou a ťažnosťou - gute Balance zwischen Stärke und Verspannung, praktické použitie - praktischer Einsatz, konštrukčné komponenty rámových dielov - Strukturkomponenten, podvozkoé časti - Fahrwerksteile, ráfy kolies - Radfelgen, konzoly - Halterungen, disky kolies - Radscheiben, závesy - Scharniere, držiaky motora - Motorhalterungen, nárazníky - Stoßfänger, sloupky - Säule, nárazová výstuž dverí - Türstoßverstärkung

9.5. Kaltgewalzte Bleche

Für den praktischen Einsatz werden sie in den Dickenbereichen von 0,50 - 2,00 mm oder ausnahmsweise 0,30 - 3,00 mm hergestellt. Die Zugfestigkeit von kaltgewalzten Blechen liegt zwischen 300 - 1000 MPa, die Streckgrenze 150 - 800 MPa und die Duktilität A80= 15 - 50 % (Tabelle 2)[84].

Die Eigenschaften von Stahl für die Automobilindustrie können durch die Wahl einer chemischen Zusammensetzung und von Mechanismen zur Stahlhärtung, einschließlich der folgenden, eingestellt werden:

- Stärkung der Mischlösung durch interstitielle und Substitutionselemente,
- Stärkung der Versetzung,
- Verfestigung der Korngrenzen,
- Ausscheidungshärtung,
- Umwandlungshärtung.

Die Analyse des Einflusses einzelner Verstärkungsmechanismen auf die Umformbarkeit und die Eigenschaften der resultierenden ferritischen Matrix, basierend auf der Literatur, zeigt folgendes: Die Umwandlungshärtung zeigt den stärksten Einfluss auf die Stahleigenschaften; die resultierenden Stahleigenschaften hängen gleichzeitig von mehr Härte- und Verstärkungsmechanismen ab, und diese Beiträge sind abhängig von der chemischen Zusammensetzung der Stähle,[5],[6],[84].

Wenn nur eine hohe Festigkeit bei minimaler Plastizität erforderlich ist, kann dies z.B. durch die Kombination von Mischkristallverfestigung und Umwandlungshärtung von martensitischem Stahl erreicht werden. Häufig werden aber auch gute plastische Eigenschaften gefordert. Dies kann nur durch die Kombination verschiedener Verstärkungs- und Härtungsmechanismen erreicht werden.

Der effizienteste Verstärkungsmechanismus ist die strukturelle Stärkung durch kontrollierte Phasenumwandlung, die mit anderen Verstärkungsmechanismen (TR, P und Kornfeinung) kombiniert werden könnte. Die strukturelle Härtung mittels kontrollierter Phasenverformungen kann wie folgt durchgeführt werden:

- Bei den Prozessen der heißen plastischen Verformungen,
- Durch kontrolliertes Walzen (RV) und kontrolliertes Kühlen (RO),
- Bei den Prozessen der plastischen Kaltverformung,
- Mit Hilfe der thermischen Verarbeitung.

Kohlenstoff verursacht eine Abnahme der Plastizität von kaltgewalzten Stählen und verschlechtert die Schweißbarkeit, daher besteht eine klare Tendenz, sich auf die Minimierung des Gehalts in den für den Einsatz in der Automobilindustrie bestimmten Stählen zu konzentrieren. Bis zur Einführung der Vakuumtechnik betrug der C-Gehalt $C > 0,05\%$. Die Einführung der Vakuumtechnik in die Stahlerzeugungstechnologien ermöglicht die Herstellung von kohlenstoffarmen Stählen, die nach dem C-Gehalt wie folgt weiter klassifiziert werden: [82]:

- LC-Stähle (kohlenstoffarm) 0,03 - 0,2 % C
- ELC-Stähle (extra low carbon) 0,01 - 0,03 % C
- ULC-Stähle (ultra low carbon) 0,01 - 0,003 %C
- SULC-Stähle (Super Ultra Low Carbon) < 0,003 %.

Tabelle 2 Kaltgewalzte hochfeste Stähle für Fahrzeugkomponenten[71]

Mechanizmus spevnenia	Hlavné prvky	Úroveň R _m [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie	
Tuhým roztokom (TR) (LC – low carbon)	P – Mn Si – Mn P	340 – 440	Ťažný typ Dobrá lisovateľnosť BH typ	Vonkajšie panely Vnútorne panely Konštrukčné prvky Konzoly, stĺpiky	
Tuhým roztokom (TR) (ULC – ultra low carbon)	P – Mn P – Si Mn – P – Si Ti, Nb	340 – 590	Hlbokotažný typ BH typ	Hlboko ťahané časti Vonkajšie panely Vnútorne panely	
Precipitáciou (P)	Mn Nb Si – Mn – Nb	390 – 590	Dobrá zvariteľnosť	Vnútorne panely	
TR + P	Mn – Ti Si – Mn – P – Nb Cu – Ti	490 – 590	Dobrá ohýbatelnosť Typ s vysokou „r“ hodnotou	Výstuže Konzoly	
Transformáciou (T)	M M + B	Mn – Si Mn – Si – P Mn Si – Mn – Nb	490 – 1470	Nízky pomer R _{0,2} /R _m BH typ	Vnútorne panely Konštrukčné prvky Výstuže Nárazníky
	B	Mn – Cr	440 – 590	Vysoké výťažky s obrubou Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky Konzoly Výstuže
	RA	Si – Mn	590 – 980	TRIP typ Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky v crash zónach
P + T	Mn-Si-Ti Mn-Si-Ti-Mo	780-1470	Ultra-vysoko pevné	Nárazníkové výstuže Nárazová výstuž dverí	

Legende: mechanizmus spevnenia - Verstärkungsmechanismus, tuhým roztokom - feste Lösung, precipitáciou - durch Niederschlag, transformáciou - durch Umwandlung, hlavné prvky - Hauptelemente, úroveň - Ebene, charakteristika - Eigenschaften, ťažný Typ - Zeichnung Stahl, dobrá lisovateľnosť - gute Kompressibilität, BH-Typ - BH-Typ, hlbokotažný-Typ - Tiefziehstahl, dobrá zvariteľnosť - gute Schweißbarkeit, dobrá ohýbatelnosť - gute Biegebarkeit, Typ s vysokou "r" hodnotou - Typ mit hohem "r"-Wert, nízky pomer - niedriges Verhältnis, vysoké výťažky s obrubou - Zeichnungen mit Zierleiste, vysoké predĺženie - Erweiterung, TRIP-Typ - TRIP-Typ, ultra-vysoko pevné - ultrahochfest, praktické použitie - praktischer Einsatz, vonkajšie panely -

Außenpaneele, vnútorné panely - Innenpaneele, konštručné prvky - Konstruktionselemente, konzoly - Konsolen, stlpiky - Säulen, hlboko táhané časti - Tiefziehteile, výstuže - Verstärkung, nárazníky - Stoßfänger, crash zóny - Crashzonen, nárazníkové výstuže - Stoßfängerverstärkung, nárazová výstuž dverí - Türaufprallverstärkung

9.6. Verzinkte Bleche im Automobilbereich

Klassifizierung von verzinkten Blechen.

Verzinkte Stahlbleche sind kein neues Material. Die Entwicklung ihrer Verwendung in verschiedenen Bereichen der Maschinenbauproduktion macht sie zu einem sehr fortschrittlichen Produkt. Der Einsatz von verzinkten Blechen war zwischen 1975 und 2000 doppelt so hoch, während der Umsatz mit unbehandelten Blechen fast um die Hälfte zurückging. Der Sektor, der die größte Menge an verzinktem Stahlblech verarbeitet, ist in erster Linie die Automobilindustrie[71].

Bei der Oberflächenbehandlung von Stahlblechen durch Metallbeschichtungen wird Zink vor allem wegen seines relativ niedrigen Preises und seiner guten Korrosionseigenschaften eingesetzt. Die Haltbarkeit der Beschichtung ist proportional zu ihrer Dicke und der Umgebung, in der die Zinkschicht aufgebracht wird[7],[9],[29].

Die Anforderungen an verzinkte Materialien sind: geringes Gewicht, Korrosionsbeständigkeit, technologische Formbarkeit, leichte Schweißbarkeit, oberflächenverträgliche Oberfläche, überdurchschnittliche Festigkeit und plastische Eigenschaften.

9.6.1. Feuerverzinkte Stahlbleche

Die Feuerverzinkung ist die am weitesten verbreitete Methode zum Schutz von Stahlprodukten vor Korrosion. Die meisten von ihnen (mehr als 50%) werden in der Automobil- und Bauindustrie eingesetzt. Um die Korrosionseigenschaften zu verbessern, werden manchmal Al und Si in die Beschichtung eingebracht. Die Verzinkung, insbesondere die Feuerverzinkung, ist eines der kostengünstigsten Verfahren der Oberflächenbehandlung von Stahlbändern. Es werden ein- und zweiseitig verzinkte Bleche mit gleicher Schichtdicke hergestellt, die sowohl für äußere als auch für innere Karosserieteile bestimmt sind.

Eine wichtige Anforderung, die feuerverzinkte Bleche im Hinblick auf ihren Einsatz im Automobil erfüllen müssen, ist die Vermeidung der Bildung von Zinkblüten, die ein Begleitphänomen der Feuerverzinkung ist.

Die Erfüllung dieser Anforderungen kann wie folgt sichergestellt werden:

- Erhöhung der Abkühlgeschwindigkeit der Flüssigverzinkung,
- Erhöhung der Anzahl der Kristallisationszentren während des Beschichtungs-erstarrungsprozesses,
- Reduzierung des Bleigehalts im Galvanikbad unter 0,08 %.
- Verwendung von elektrolytischem Zink im Bad,
- Leichtes Walzen von verzinktem Band (0,8 - 1,5% Entfernung).

9.6.2. Elektrolytisch verzinkte Bleche

Die elektrolytische Verzinkung wird seit 1917 eingesetzt. Die Herstellung von elektrolytisch verzinkten Blechen ist weltweit weniger verbreitet als die Herstellung von feuerverzinkten Blechen mit einem Anteil von etwa 10 - 15 % [71],[76],[82].

Im Vergleich zu feuerverzinkten Blechen ergeben sich folgende Vorteile durch elektrolytisch verzinkte Bleche:

- Die Möglichkeit, sehr dünne Zinkschichten herzustellen (ab 0,4 μm),
- Relativ dünne Zinkschicht sorgt für ausreichenden Korrosionsschutz
- Der Verzinkungsprozess hat keinen Einfluss auf die ursprünglichen mechanischen Eigenschaften des Grundwerkstoffs, insbesondere seine Fähigkeit zum Tiefziehen,
- Die Verzinkung mit einer Konversionsschicht sorgt für eine gute Haftung der organischen Beschichtung,
- Differenzierte und einseitig verzinkte Bleche können relativ einfach hergestellt werden.

Die übliche Dicke der im Automobilbereich erforderlichen elektrolytischen Beschichtung liegt unter 7,5 μm . Elektrolytisch verzinkte Bleche verwenden alkalischen oder sauren Elektrolyten; der Verzinkungsprozess wird daher in zwei Badtypen durchgeführt:

9.6.3. Im alkalischen Bad

Zink ist in Form von Alkalizink und in Form von komplexem Zinkkalkalicyanid gebunden. Das Bad weist eine sehr gute Tiefenwirkung, Feinkörnigkeit und Qualitätsstruktur der Beschichtung auf und ist leicht zu regenerieren. Aufgrund dieser Eigenschaften haben sich Cyanidbäder durchgesetzt. Je nach Zusammensetzung des Bades, der Glanzmittel und den Betriebsbedingungen entstehen weitere Arten von Beschichtungen: matte,

halbglänzende und glänzende Beschichtungen. Die Grundmasse der alkalischen Zinkbäder ist Zinkcyanid, Natriumcyanid, Natriumhydroxid, Natriumsulfid und Glanzmittel. Die Kathodenstromdichte des Bades beträgt 1 - 6 A.dm², die Badtemperatur 20 - 35°C.

9.6.4. Im Säurebad

Die wichtigsten sind sulfatierte und fluoroborierte Bäder. Säurebäder haben eine sehr geringe Tiefenaktivität und eine schlechte Deckkraft. Die Badzusammensetzung ist stabiler als bei Cyanidbädern. Es ist möglich, eine hohe Stromdichte zu verwenden, bei der Bäder mit hohem Kathodenerz-Extrakt betrieben werden. Sie werden zum Verzinken von Drähten, Blechen, Bändern und Produkten einfacher Form verwendet.

Die Grundkomponente des Säurebades ist Zinksulfat, Aluminiumsulfat, Ammoniumchlorid und Borsäure. Die Kathodenstromdichte beträgt 1 - 6 A dm², die Kathodenstromleistung 95 - 100 %, die Badtemperatur 20 - 30°C. Die Beschichtungsbildungsrate in sauren Verzinkungsbädern ist etwa 8 mal höher als im alkalischen Bad.

Mit der stetigen Entwicklung von cyanidfreien Säurebädern für die Galvanik wurden Ergebnisse erzielt, die es in vielen Fällen ermöglichen, die Vernickelung und Verchromung zu ersetzen. Diese sind hauptsächlich:

- ungiftiges Bad,
- Glänzende Oberfläche
- Langlebigkeit und Kosteneffizienz

10. Rostfreie Materialien

Es gibt mehrere Stahlsorten nach verschiedenen Kriterien. Nach der Verarbeitungsmethode gibt es eine Klasse von Stählen für die Umformung in Form von Halbfabrikaten, nach der Verwendung - Baustahl, nach der vom Lieferanten garantierten chemischen Zusammensetzung - Qualitätsstähle (die Hersteller garantieren ihre chemische Zusammensetzung, d.h. den minimalen und maximalen Gehalt der Elemente), nach der chemischen Zusammensetzung - Legierungsstähle, die ein oder mehrere Legierungselemente enthalten. Alle oben genannten Stähle sind Edelstähle der Klasse 17[4],[70],[71].

In Europa ist die Klassifizierung und Kennzeichnung von Stählen auf der Grundlage europäischer Normen (EN) einheitlich (ČSN EN in der Tschechischen Republik). Die Klassifizierung von Stählen wird durch die europäische Norm EN 100020 festgelegt, die definiert:

- Der Begriff "Stähle zum Umformen",
- Klassifizierung von Stählen nach ihrer chemischen Zusammensetzung,
- Unterteilung in Hauptgruppen basierend auf den Eigenschaften und der Verwendung.

Stähle zum Umformen werden als Werkstoffe bezeichnet, bei denen der Eisenanteil höher ist als bei jedem anderen Element, die weniger als 2 % C enthalten und auch andere Elemente enthalten.

10.1. Klassifizierung von Stählen nach ihrer chemischen Zusammensetzung:

- **Unlegierte Stähle** - der Gehalt der einzelnen Elemente erreicht diese Grenzwerte nicht:

Mn = 1,65 Si = 0,60 Cu = 0,40 Ni = 0,30 W = 0,30 Co = 0,30 Al = 0,30 V = 0,10 %.
Mo = 0,08 Ti = 0,05 Bi = 0,10 Nb = 0,06 Zr = 0,05 Pb = 0,40 B = 0,008

Der Massenanteil ist in % angegeben.

- **Legierte Stähle** - der Gehalt an einzelnen Elementen erreicht oder überschreitet in mindestens einem Fall die oben genannten Grenzwerte des Gehalts an Legierungselementen.

Klassifizierung von Stählen nach Qualität entsprechend den Eigenschaften und der Verwendung:

- **Legierte Qualitätsstähle** - die Eigenschaften werden durch vorgeschriebene chemische Zusammensetzung und spezielle Verarbeitungsbedingungen erreicht. Diese Gruppe umfasst legierten Baustahl, legierten Stahl für Druckleitungen und Behälter, Stähle für Wälzlager, Werkzeugstähle, Schnellarbeitsstahl, Stähle mit besonderen physikalischen Eigenschaften - ferritische Ni-Stähle.

Je nach Gehalt an Legierungselementen werden sie in die folgenden Untergruppen eingeteilt:

- Rostfreie Stähle mit dem Gehalt an Cr min $\geq 10,5$ % a max. C-Gehalt 1,2 %,
- Schnellarbeitsstahl mit dem Gehalt an C $\geq 0,60$ % und Cr = 3,0 - 6,0 %, und neben anderen Elementen enthalten sie mindestens zwei Elemente dieser Gruppe: Mo, W, V (Gesamtgehalt über 7 %).

10.1.1. Rostfreie Stähle

Rostfreie Stähle sind Chromlegierungen mit Eisen, die etwa 12 - 30 % Chrom, bis zu 30 % Nickel oder bis zu 2,4 % Mangan bei einer bestimmten Menge an Mo, Si, Cu, Ti, Ni, N, etc. enthalten. (max. ein paar Prozent). Chrom sorgt für die Passivität dieser Legierungen und ist damit das wichtigste Element zur Erreichung der Korrosionsbeständigkeit. Rostfreie Stähle sind in einigen Umgebungen anfällig für lokale Korrosion (Lochfraß, Spalte, interkristallin, Spannungsrisskorrosion). Dies kann jedoch durch die Wahl einer geeigneten Stahlsorte unter den gegebenen Bedingungen vermieden werden. Obwohl der Anteil von Chrom, Nickel, Mangan und anderen Legierungselementen in Edelstählen recht hoch ist, ist das Grundelement Eisen und seine Legierung mit Kohlenstoff, d.h. Stahl. Edelstähle werden aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und Struktur in mehrere Gruppen eingeteilt[71]:

- austenitisch
- martensitisch (härtbar)
- ferritisch
- austenitisch-ferritisch (Duplex)

10.1.2. Austenitische Stähle

Sie haben die höchste Korrosionsbeständigkeit aller Grundstähle. Diese kann durch Zugabe von Mo und Cu noch erhöht werden. Eine wichtige Eigenschaft ist die Duktilität und Festigkeit. Um unterschiedliche Eigenschaften zu erhalten, wird die Grundmasse

durch Hinzufügen weiterer Elemente verändert, um zu erhöhen:

- allgemeine Korrosionsbeständigkeit (Chrom, Molybdän, Kupfer, Silizium, Nickel)
- Qualität der mechanischen Eigenschaften (Stickstoff)
- Bearbeitbarkeit (Schwefel, Selen, Phosphor, Blei, Kupfer)
- Beständigkeit gegen Schweißrisse (Mangan)
- Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion (Molybdän, Silizium, Stickstoff)
- Beständigkeit gegen Korrosionsrisse (Reduzierung des Phosphor-, Arsen- und Antimonanteils)
- Kriechfestigkeit (Molybdän, Titan, Niob, Bor)
- Hitzebeständigkeit (Chrom, Aluminium, Silizium, Nickel)

10.1.3. Martensitischer Stahl

Die Korrosionsbeständigkeit ist gering. Es kann in Kombination mit Salpetersäure, Borsäure, Essigsäure, Benzoesäure, Ölsäure, Pikrinsäure, mit Carbonaten, Nitraten und Laugen verwendet werden. Ihr Widerstand nimmt jedoch mit zunehmender Temperatur ab. Die Beständigkeit gegen atmosphärische Korrosion ist in sehr sauberer Luft ausreichend.

10.1.4. Ferritische Stähle

Sie sind magnetisch und ausreichend dehnbar. Ein höherer Chromgehalt erhöht ihre Korrosionsbeständigkeit, die höher ist als bei martensitischen Stählen in oxidierender Umgebung. Sie können in der chemischen Industrie, in der Salpetersäure, im Verkehr, in der Klimatisierung, in der Architektur eingesetzt werden. Sie sind jedoch für einige Industriebereiche nicht geeignet. Sie sind nicht für Schweißkonstruktionen geeignet.

10.1.5. Austenitisch - ferritische (Duplex) Stähle

Sie werden aus klassischen austenitischen Stählen hergestellt. Durch den hohen Chrom- und Molybdängehalt verfügen sie über eine ausgezeichnete Bruch- und Korrosionsbeständigkeit. Die Mikrostruktur von Duplexstählen gewährleistet eine hohe Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion, Spannungsrisskorrosion und Erosion. Die Schweißbarkeit von Duplexstählen ist gut. [71].

10.2. Allgemeine Eigenschaften von rostfreien Materialien

- Entsprechende Qualitäten unter ČSN
- Ferritische Stähle 17020, 17021, 17022, 17023, 17024, 17040
- Austenitische Stähle 17240, 17249, 17352, 17350, 17349, 17248, 17348, 17348
- Austenitisch-ferritisch 17381

10.2.1. Kaltgewalzte Edelstahlbleche

Sie werden nach DIN 17441/EN 10088-2, mit einer Toleranz DIN 59382 hergestellt.
Oberfläche:

- 2R (III d) kaltgewalzt, blankgeglüht, glänzend poliert.
- 2B (III c) kaltgewalzt, gebeizt, gegläht, feingewalzt, opak poliert.
- 2G kaltgewalzt, geschliffen (verschiedene Arten von Schleifmaschinen P80 - P400) oder geschliffen und gebürstet.
- 2J kaltgewalzt, gebürstet (Scotch-Brite)

10.2.2. Warmgewalzte Edelstahlbleche

Sie werden nach DIN 17440/EN 10088-2, AD-W2 hergestellt. Toleranz DIN 59382, EN 10029.

10.2.3. Dekorative Stahlbleche

Qualität: 1.4016, 1.4301, 1.4301, 1.4404 (AISI 430, 304, 316L)

Oberflächenbehandlung 2B (geglüht, gebeizt), 2R (blankgeglüht);
Andere Oberflächen auf Anfrage

Abmessungen: Dicke 0,5-2,0 mm

Formate: 1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm; 1500×3000 mm

Andere Formate auf Anfrage

10.2.4. Flachgewalzte Bleche

Qualität: 1.4016 ; 1.4301 ; 1.4301 ; 1.4404 (AISI 430 ; 304 ; 316L)

Oberflächenbehandlung: 2B (geglüht, gebeizt) ; 2R (blankgeglüht) ; R13 ; gebürstet; farbig;
andere Oberflächen auf Anfrage

Abmessungen: Dicke 0,5-2,0 mm

Formate: 1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm ;
Andere Formate auf Anfrage

10.2.5. Bleche mit spezieller Oberflächenbehandlung

Farbige, gebürstete, getriebene und geätzte dekorative Oberflächen (verschiedene Muster).

10.2.6. Boden-(Aufreiß-)Platten

Weitere Informationen über Typen, Formate und Oberflächenbehandlung erhalten Sie bei den Herstellern auf Anfrage.

11. SSAB (schwedische rostfreie) Stähle

Es gibt viele Eigenschaften von Stahl. Es kann hart oder weich, zäh oder spröde, dick oder dünn oder extra stark sein, um dem Verschleiß zu widerstehen. Es kann auch eine Kombination all dieser Eigenschaften geben, bei der die Stahleigenschaften durch den technologischen Prozess im Stahlwerk, durch Walzen und Weiterverarbeitung bestimmt werden. [81].

Der schwedische Hersteller ist auf die Herstellung von hochfestem Stahl spezialisiert. In der Stahlherstellung konzentrieren sie sich auf den Automobilbau, Haushaltsstähle, Freizeitprodukte, Innenausstattungen, Großgebäude, Brücken, Transportmittel, Industrieanlagen oder Gesundheitseinrichtungen. In der Stahlproduktion stehen rund 500 Stahlsorten zur Auswahl.

Der Anteil der progressiven SSAB-Stähle nimmt stetig zu, da immer mehr Kunden ihre Vorteile und die Einsatzmöglichkeiten dieser Stähle entdecken. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, ist es notwendig, Technologien und Innovationen zu kombinieren.

In der Stahlherstellung gibt es zwei verschiedene Verfahren:

- **Stahl aus Erz** - Roheisen aus Eisenerz wird in Schweden aus Eisenerz-Pellets im Hochofen in Luleå und Oxelösund hergestellt. Eine geringe Menge Eisenschrott wird hinzugefügt, wenn Roheisen in LD zu Rohstahl verarbeitet wird. Schweden produziert auch Stahlbleche und Schwerstahl.
- **Stahl aus Eisenschrott** - wird in den USA hergestellt, wo das Stahlwerk Eisen-schrott in Elektrolichtbogenöfen recycelt und Rohstahl nur aus Eisenschrott hergestellt wird. In den USA werden schwere Bleche produziert.

In beiden Fällen entspricht die resultierende Stahlzusammensetzung den SSEB - Veredelungsverfahren, bevor der geschmolzene Stahl gegossen und in einer Stranggießanlage auf BRÁMY abgekühlt wird. Hochfeste Stähle gewinnen ihre Festigkeit durch Zugabe von Legierungselementen und den Herstellungsverfahren, z.B. Härten in extrem schnellen Härteprozessen. Hohe Genauigkeit ist die wichtigste Voraussetzung.

11.1. Art der SSEB-Stähle

Der schwedische Stahlproduzent SSEB konzentriert sich auf die Lösung komplexer Probleme. Die Experten von producer´s verfügen über exzellente Kenntnisse und Erfahrungen in allen Bereichen der Stahlerzeugung, angefangen bei den verschiedenen Stahleigenschaften (Festigkeit, fertigungstechnische Aspekte, Umformung, Verbindungen) über

Verschleiß und Oberflächenbehandlung.

Ein gutes Beispiel ist die europäische Automobilindustrie, die in den letzten zehn Jahren den Kauf von modernem hochfestem Stahl verstärkt hat. Damit erzielen Fahrzeuge gute Ergebnisse bei Crashtests, senken den Kraftstoffverbrauch und tragen zur Reduzierung der Kohlendioxidemissionen bei. Der Hersteller von schwedischen Stählen hat eine führende Position auf dem Markt der fortschrittlichsten gehärteten und veredelten Stähle. Docol-Produkte (kaltgewalzt) werden häufig für Pkw verwendet. Kunden wählen oft Kombinationen von HARDOX-, WELDOX-, DOMEX- und Docol-Stählen in

Schwerfahrzeugen, Lastkraftwagen, Anhängern, LKW-Aufbauten, Containern und Kranen, um ihre Produkte zu optimieren. Dies führt zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit, der Lebensdauer und der Reduzierung der Wartungskosten. Es gibt noch weitere Anwendungsmöglichkeiten. TOOLOX ist eine spezielle Stahlsorte, die zur Herstellung von Presswerkzeugen verwendet wird[81].

Spezialisten für den technischen Support sind von Anfang an mit der Vorbereitung neuer Produkte und Projekte beschäftigt. Der Hersteller entwickelt oft neue Stahlsorten, die für einen bestimmten Zweck bestimmt sind. Die Entwicklung neuer Produkte auf diese Weise hat klare Vorteile.

11.2. Die aktuelle Produktpalette der SSSEB-Stähle:



DOMEX
HIGH STRENGTH STEEL

DOMEX ® sind warmgewalzte Bleche für den Schiffbau, Gebäude, Maschinen, Fahrzeuge, Hebezeuge, Container.



HARDOX
WEAR PLATE

HARDOX ® ist vergüteter und verschleißfester Stahl für Kippaufbauten, Container, Schredder, Mühlen, Schaufeln.



DOCOL
HIGH STRENGTH STEEL

DOCOL ® ist kaltgewalztes Stahlblech in Form von Weichstahl zum Pressen und Biegen

zu ultrahochfestem Stahl.



DOGAL ist es eine Art DP-Stahl, mit guter Umformbarkeit und Festigkeit. Dogal 600 D und 800 DP sind extra- und ultrahochfeste Stähle, feuerverzinkt.



WELDOX ® ist ein hochfester Baustahl, der für leichte Produkte mit gleicher oder höherer Festigkeit verwendet wird, als die Produkte aus gewöhnlichem Stahl. Es wird z.B. im Kranbau, bei Anhängern und Fahrzeugen eingesetzt.



PRELAQ ® ist ein beschichtetes Stahlblech für die Bauindustrie. Es wird für Dachdeckungsprodukte, Fassaden, Dächer, Regenfallrohre, Schmiedeteile verwendet.



ARMOX ® ist Stahl, der als Schutz beim Transport von z.B. Kassenfenstern, Minenräumfahrzeugen, Personenschutz usw. verwendet wird.



TOOLOX ® sind moderne Werkzeugstähle zum Verdichten von Werkzeugen und Maschinenelementen.

QSTE - hochfeste Stahlbleche, warmgewalzt, zum Kaltverformen
QSTE-Stähle sind Feinkornstähle, thermisch und mechanisch gewalzte Mikrolegierungen™, die aufgrund ihrer höheren Festigkeit zum Kaltbiegen geeignet sind.

11.3. Umwelt und Recycling

Die natürlichen Ressourcen sind begrenzt. Daher ist es sehr wichtig, Ressourcen zu schonen und so effektiv wie möglich zu nutzen. Zunächst einmal ist es wichtig, Materia-

lien wie Eisen, das bereits aus seinen natürlichen Vorkommen gewonnen wurde, zu recyceln.

Während seiner Lebensdauer werden etwa 90 % aller Eisen- und Stahlabfälle wiederverwendet oder recycelt. Stahlschrott, wie alte Fahrzeuge, Maschinen und Schienenfahrzeuge, wird geschmolzen, veredelt und neuer Stahl für neue Produkte hergestellt. Stahl ist Teil eines Kreislaufs, in dem alles erneuert werden kann. Rund ein Drittel der weltweiten Stahlproduktion basiert auf dem Schrottreycling. Da die Nachfrage nach Stahl weiter steigt und das verfügbare Schrottangebot übersteigt, muss neuer Stahl aus Eisenerz hergestellt werden. Schwedische producers´ Hochöfen gehören zu den energieeffizientesten der Welt.

Prozessgase werden mittels Dampfturbinen als Ausgangsmaterial für die Stromerzeugung in Blockheizkraftwerken (BHKW) genutzt. Damit wird etwa die Hälfte des Bedarfs der SSEB-Produzenten an elektrischer Energie für ihre drei Produktionsanlagen gedeckt. In der nächsten Stufe wird Dampf aus Dampfturbinen zur Warmwasserbereitung in einem Fernwärmenetz für 35.000 Haushalte verwendet, die mit Wasser aus dem Fernwärmenetz versorgt werden. Etwa 40.000 weitere Haushalte nutzen eine Fernwärmanlage aus Prozessgas, bei der die Wärme aus Hochofengas gewonnen wird.

Aus ganzheitlicher Sicht von Industrie und Energiewirtschaft können die Gesamtemissionen von Kohlendioxid reduziert werden. Darüber hinaus können in der Stahlindustrie andere Energien erneuert werden. Wenn also Kohle verwendet wird, soll sie in erster Linie für die Stahlerzeugung verwendet werden.

Produktionsstätten in Schweden und den USA nutzen Erdgas zur Erwärmung im Rahmen des Schrottreyclings, bevor Schrott in Elektrolichtbogenöfen geschmolzen wird. Erdgas wird auch zur Erwärmung von BRÄM in Plattenwalzwerken verwendet.

Diese Produktionsplatten producers´ erreichen geringere Emissionen in Luft und Wasser, insbesondere durch den Einsatz von Nebenprodukten, die Energiegase, Staub, Schlacke, Nassschlamm, Kühlflüssigkeit, Prozesswasser, OKOVINY, Schwefel, Teer, Benzol, etc. effektiv trennen. Die Materialien werden gesammelt und getrennt. Ein großer Teil dieser Materialien wird recycelt. Nebenprodukte der stahlverarbeitenden Industrie sind Vermögenswerte, die von neuen Anwendern als Rohstoff verarbeitet und genutzt werden können.

Merox, ein Stahlproduzent, konzentriert sich auf die Verwendung von Nebenprodukten. Sie verarbeitet Produkte und Rohstoffe für ein breites Anwendungsspektrum, wie z.B. Baustoffe, Straßenmaterialien, Reitwege, Rohstoffe zur Herstellung von Zement, Düngemittel, Ferrite für Magnete und Pigmente für Farben. Die Verwendung von Nebenprodukten als neue Rohstoffe bedeutet einen wichtigen Schutz der natürlichen Ressourcen.

Hochofenruß, -staub und -schlamm aus Wasseraufbereitungsanlagen von Produktionsanlagen können mit Feianteilen von Schrott und Pelletsabfällen gemischt werden und dienen als neuer Rohstoff für den Hochofen, z.B. in Form von Briketts.

Hochofenschlacke ist ein hervorragender Baustoff für den Straßenbau sowie für die Zementherstellung. Ein großer Vorteil ist der hohe Ca-Gehalt (30 %). Wenn Schlacke für den Straßenbau verwendet wird, bindet Ca sie in einer kontinuierlichen Ladeinheit. Gleichzeitig bindet Ca andere Elemente in der Schlacke und verhindert die Versauerung durch pH-Steigerung. Hochofenschlacke ist ein gutes Beispiel für die mögliche Anwendung eines geschlossenen Kreislaufs in Stahlwerken.

Kontinuierliche Probenahme von Luft, Wasser und Fisch und deren Analyse gewährleisten eine minimale Belastung der Umwelt. Umweltorganisationen erstellen und führen umfangreiche Programme zur Kontrolle und Überwachung aller Emissionen durch, die sicherstellen, dass diese die zulässigen Grenzwerte nicht überschreiten.

Der schwedische Stahlproduzent hat seine Arbeitsumweltpolitik, bei der die Sicherheit im Vordergrund steht, da sie für die Zufriedenheit am Arbeitsplatz, die Entwicklung von employees´ und die Rentabilität des Unternehmens von entscheidender Bedeutung ist. Vorrangiges Ziel ist es, dass es weder auf Seiten der Mitarbeiter noch auf Seiten der Lieferanten oder Besucher zu Unfällen, Verletzungen oder Berufskrankheiten kommt. Es garantiert einen systematischen Umgang mit der Arbeitsumgebung und der Arbeitssicherheit.

12. Verbundwerkstoffe I.

Eine qualitative Veränderung bei der Lösung des Widerspruchs zwischen den geforderten Eigenschaften und den tatsächlichen Eigenschaften homogener Materialien sind Verbundwerkstoffe, deren Komponenten in der Lage sind, die Funktionen auszuführen, die innerhalb eines Materials nicht kompatibel sind. Verbundwerkstoffe umfassen eine breite Palette verschiedener Materialien[59],[60],[61],[62].

Nach den Eigenschaften können Verbundwerkstoffe unterteilt werden in:

- Verbundwerkstoffe mit guten mechanischen Eigenschaften;
- Verbundwerkstoffe mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften.

Verbundwerkstoffe sind Materialien, die eine Kombination aus bestehenden homogenen Materialien sind. Das Basismaterial, die Matrix, hat eine Funktion als Bindemittel. Die zweite Komponente, Fasern, Schichten oder Dispersionsteilchen, sind Verstärkungsphasen. Die Eigenschaften einer Verbundverbindung aus dem Material A (Verstärkungskomponente) und B (Matrix) werden insbesondere durch die folgenden Parameter beeinflusst:

- a) Volumenanteil der Komponenten A und B (V_a , V_b),
- b) Geometrie des Systems, die gekennzeichnet ist durch:
 - eindimensionale kontinuierliche Phase (Faser, Stick),
 - zweidimensionale kontinuierliche Phase (Platte, Platine),
 - dreidimensionale kontinuierliche Phase (räumliches Netzwerk),
- c) Grad der Kontinuität (von totaler Kontinuität bis zu Dispersoiden),
- d) Anordnung der Phasen (parallele und serielle Anordnungen sind extrem).

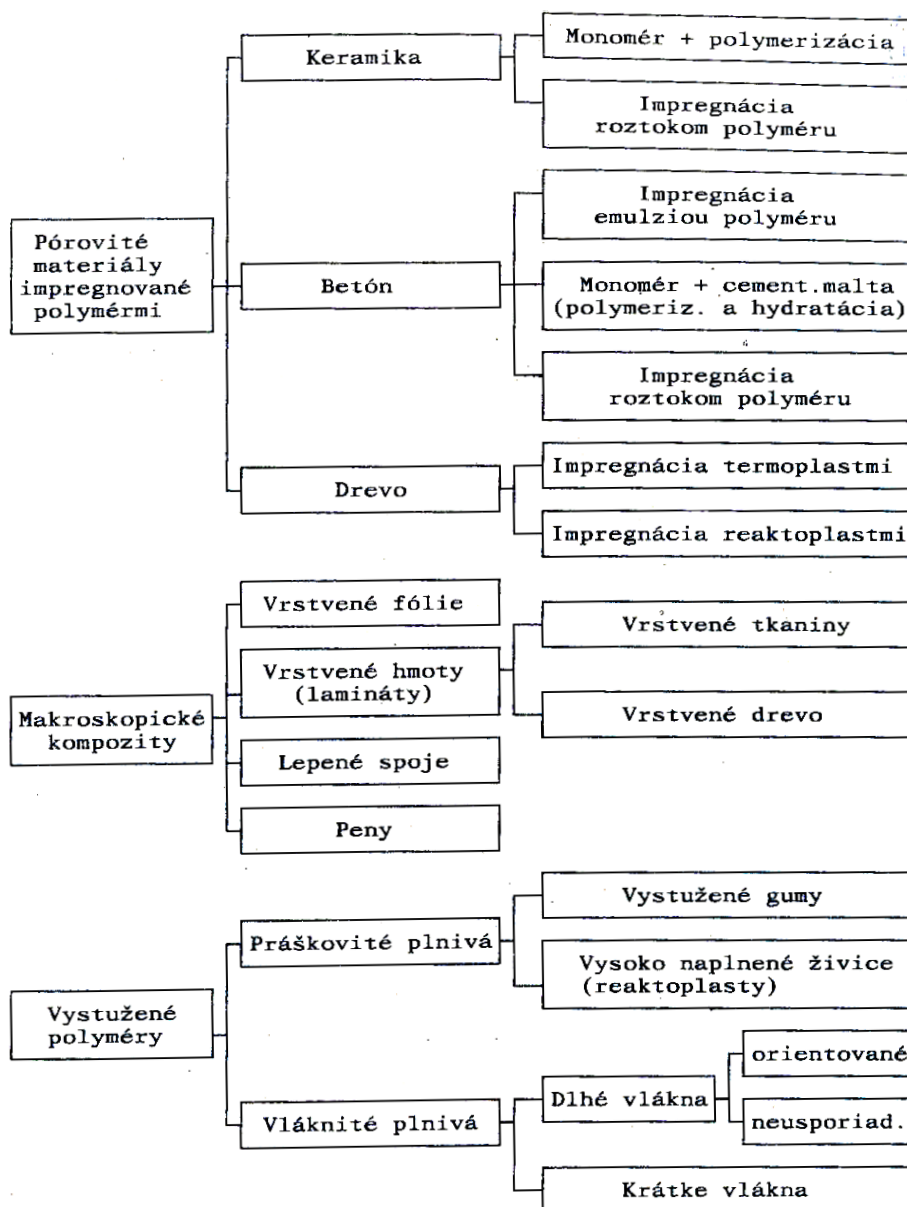
Die mechanischen Eigenschaften werden am stärksten durch die Anordnung der Phasen beeinflusst. Verbundeigenschaften können als additiv betrachtet werden, d.h. sie können aus den Eigenschaften der Ausgangsstoffe abgeleitet werden. [61]

12.1. Verbundwerkstoffe auf Polymerbasis

Fast alle biologischen Systeme bestehen aus Polymeren, die entweder mechanische Funktionen übernehmen (Holz, Knochen, Haut) oder chemische Reaktionen in der Natur

(Blätter, Zellen) beeinflussen. Die Menschen verwenden Polymere seit Jahrtausenden, aber synthetische Polymere wurden im letzten Jahrhundert entwickelt. Einfache synthetische Polymere haben eine höhere Festigkeit als Metallmaterialien, aber auch als Holz oder Knochen. Weil Holz und Knochen Verbundwerkstoffe sind: Ihre Polymermatrix ist durch Fasern oder Partikel verstärkt. Aus diesem Grund konzentrierte sich auch die Entwicklung von Kunststoffen später auf Verbundwerkstoffe. Derzeit gibt es eine große Anzahl von Verbundwerkstoffen auf Polymerbasis, die von Jahr zu Jahr zunehmen. Tabelle 1 zeigt ihre Klassifizierung[59],[60],[61],[62].

Tabelle 1 Polymer-basierte Verbundwerkstoffe[61]



Makroskopische Verbundwerkstoffe sind Verbundwerkstoffe, bei denen makromolekulares Material eine makroskopische kontinuierliche Phase erzeugt. Die wichtigsten makroskopischen Verbundwerkstoffe sind laminierte Materialien (Laminates), die durch die Verbindung von mehreren Schichten aus Polymeren und Verstärkungsmaterial entstehen. Die Verstärkung erfolgt nicht in der Matrix, sondern die einzelnen Fasern werden in Form eines Gewebes mit verschiedenen Bindungen oder in Form von Matten oder Rovings (Faserstrang) verbunden. Die einzelnen Schichten sind mit flüssigen oder pulverförmigen Harzen gesättigt, die in der nächsten Stufe verstärkt werden. Zu den am häufigsten verwendeten Verbundkunststoffen je nach Art der Verstärkung gehören Glaslaminates. Laminates werden für die Herstellung von Teilen einer Karosserie einiger Fahrzeuge verwendet (die Karosserie von Trabant besteht aus Polyphenolharz, das durch Matten aus kurzen Baumwollfasern verstärkt wird). Glaslaminates werden auch für die Herstellung von Sportflugzeugen (Flugwerke und Flügel) verwendet.

Imprägnierte poröse Materialien sind Verbundwerkstoffe auf Basis von Keramik, Beton und Holz. Diese Materialien sind mit Polymeren gefüllt.

Verbundsicherheitsglas verhindert, dass sich Glasscherben bei Bruch ausbreiten. Sie wird durch die Verbindung von zwei oder mehreren Glasscheiben mit Kunststoffen hergestellt. [61].

Leichtbauwerkstoffe, Schaumstoffe, sind Polymere, die Hohlräume unterschiedlicher Form und Größe enthalten. Sie werden aus Kunststoff und Naturkautschuk hergestellt. Technisch gesehen sind die wichtigsten Leichtbaumaterialien PS (Polystyrol), PVC (Polyvinylchlorid) und Schaumduroplast. Sie werden z.B. im Innenbereich von Verkehrsmitteln (Sitze) und als Verpackungsmaterial[59],[60],[62] eingesetzt.

Ein Sonderfall von laminierten Kunststoffen sind Sandwiches. Es handelt sich um Verbund- oder Aluminiumbeschichtungen mit leichtem Kunststoffkern, die z.B. für die Herstellung von Karosserien von Kühlfahrzeugen und Wohnwagen bestimmt sind.

Verstärkte Polymere sind Materialien, die durch die Verbindung eines Verstärkungsmaterials (Füllstoff) und eines makromolekularen Materials entstehen, vor allem um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern. Die Polymerkomponente ist die grundlegende kontinuierliche Matrix eines Verbundwerkstoffs. Der Füllstoff kann organisch oder anorganisch sein. Die Basis der verstärkten Polymere sind Duroplaste, z.B. PTFE (Polymer aus fluoriertem Ethylen - Teflon) mit Graphitfüllung und Bronzepulver für bewegliche, ungeschmierte Dichtungen und Gleitlager. [62].

12.2. Verbundwerkstoffe mit Metallmatrix

Verbundwerkstoffe mit Metallmatrix können unterteilt werden in:

- **Dispersionsverstärkte Materialien** - Metallmatrix + nicht-kohärente Dispersoide,
- **Faserverbundwerkstoffe** - Metallmatrix + dünne Drähte oder monokristalline Fasern.

Dispersionsverstärkte Materialien sind Verbundwerkstoffe mit einer durch disperse kontinuierliche Phasen verstärkten Matrix. Sie werden meist mit Hilfe von pulvermetallurgischen Technologien hergestellt. Sie haben eine polykristalline Matrix mit dispersiven Partikeln, meist vom Typ Oxid, Karbid und Nitrid. Die Verstärkung kann sowohl direkt (bestehend aus der Hemmung der Bewegung von Matrixversetzungen) als auch indirekt (bestehend aus der Tatsache, dass Dispersoide bei der Bildung die Dichte der Versetzungen erhöhen und die Korn- und Unterkornstruktur verfeinern) erfolgen. Theoretische Studien und Experimente zeigten, dass die maximale Bewehrung durch folgende Strukturparameter erreicht wird:

- Die Abmessungen der Verstärkungsteilchen der Sekundärphasen (Dispersoide) dürfen 50 nm nicht überschreiten,
- Der mittlere Abstand zwischen den Verstärkungsteilchen muss zwischen 0,1 und 0,5 liegen μm und ihre Verteilung muss gleichmäßig sein.

Die oben genannten Parameter geben die tatsächlichen Volumenanteile der Dispersoide an.

Aluminium SAP (Sinteraluminiumpulver), d.h. mit Al_2O_3 -Partikeln verstärktes Aluminium, ist der älteste dispersionsbewehrte Werkstoff. Für seine Herstellung wird die Oberflächenoxidation von Aluminiumpulver während des Fräsprozesses verwendet. Harte Oxide auf der Oberfläche der Aluminiumpartikel brechen, lösen sich ab und reine Metallkörner werden geschweißt. Das Ergebnis dieser wiederholten Prozesse ist die Bildung von Aluminiumkörnern, die durch Oxidpartikel im Inneren verstärkt sind. Das dabei entstehende Aluminiumpulver wird verdichtet, gesintert und heiß extrudiert. Der Vorteil von SAP sind sehr gute mechanische Eigenschaften, geringe Dichte, gute Korrosionsbeständigkeit und gute Wärmeleitfähigkeit[59],[60],[61],[62].

Dispal ist ein neues Material mit ähnlichen Eigenschaften wie SAP. In diesem Fall ist es Aluminium verstärkt durch Al_4C_3 -Partikel, die durch mechanisches Legieren der Mischung aus Aluminium und Graphitpulver hergestellt werden. Dieses Pulver wird anschließend heißverdichtet. Wie SAP wird auch Dispal als Baustoff vor allem im Automobil- und Luftverkehr eingesetzt. Es sind Eigenschaften mit hoher Rekristallisationsbeständigkeit und hoher ŽÁRUPEVNOST zwischen 300 - 500 °C.

TD-Nickel (98 % Ni, 2 % ThO_2) gilt heute als traditionelles, dispersiv verstärktes Material. Durch Thoriumdioxid verstärktes Nickel hat eine hohe Festigkeit und ist für den Einsatz bei Temperaturen von 1100 oC und höher geeignet.

Dispersionsverstärkte ŽÁRUPEVNÉ-Legierungen werden derzeit am häufigsten mit Y₂O₃ verstärkt, da ThO₂ radioaktiv ist. It´s hauptsächlich NiCrAl-Y₂O₃-Legierungen, hergestellt durch mechanisches Legieren. Sie werden für Gasturbinen von Flugzeugtriebwerken eingesetzt. Es handelt sich um Eigenschaften mit hohem ŽÁRUPEVNOST bis zur Temperatur von 1200 °C und kurzzeitig bis zu 1350 °C.

Dispersionsbewehrte rostfreie und ŽÁRUPEVNÉ Stähle, austenitische und ferritische Stähle (verstärkt durch Al, Ti oder Th Oxide) weisen eine höhere Beständigkeit gegen Strahlungssprödigkeit auf und werden daher im Reaktorbau eingesetzt. Aufgrund ihrer hohen Festigkeit (auch bei hohen Temperaturen - kurzzeitig bis 1200 °C) bei akzeptabler Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit werden sie auch in der Luft- und Raumfahrt und Raketentechnik eingesetzt. Zu ihren Nachteilen gehören hohe Kosten, Anfälligkeit für Wärmesprödigkeit, Probleme mit der Schweißnahtfestigkeit, häufige anisotrope Eigenschaften und Neigung zu Spannungsrisskorrosion. [61].

12.3. Faserverstärkte Verbundwerkstoffe

Faserverstärkte Verbundwerkstoffe mit Metallmatrix-Ca-Durchmesser von 2 - 250 µm), Fasern (kurze dünne Drähte) und Whiskern (kurze einkristalline Fasern mit einem Durchmesser von ca. 1 µm).

Fasern (oder Drähte) haben eine Zugfestigkeit von ca. 2000 - 4000 MPa. Faserverstärkte Materialien werden meist geformt, so dass das Verbundmaterial eine signifikante Anisotropie der Eigenschaften aufweist. Sie werden pulvermetallurgisch hergestellt, indem man die Fasern mit dem Grundmaterial einbettet oder Matrix-Metallfolien walzt, die durch Fasern verflochten sind. Bei der Betrachtung der plastischen Verformung bei höheren Temperaturen wird das optimale Verhältnis l/d auf etwa 50 erhöht.

Verbundwerkstoffe mit Aluminiummatrix sind eines der am häufigsten verwendeten faserverstärkten Materialien. Das gebräuchlichste Material sind Kohlefasern, die entweder zwischen Aluminiumfolien komprimiert oder mit einer Ti- und B-Schicht und Aluminium beschichtet werden. Wichtige Fasern sind die B- und B-Fasern + SiC (Borfasern mit SiC-Schicht).

Verbundwerkstoffe mit Titanmatrix werden auch in der Luft- und Raumfahrt (Schaufeln von Triebwerksventilatoren) eingesetzt. Borsische und Berylliumfasern eignen sich für die Verstärkung von Titan. Verbundwerkstoffe mit einer Titanlegierungsmatrix vom Typ VT6 erreichen eine Faserfestigkeit von 1 000 - 1400 MPa.

ŽÁRUPEVNÉ Verbundwerkstoffe bestehen hauptsächlich auf Basis von Nickel-Superlegierungen mit Wolfram- und Korundfasern sowie Graphitfasern. Der Anteil der Fasern liegt zwischen 20 - 70 %, die Festigkeit bei der Temperatur von 20 °C beträgt 1

400 - 2 100 MPa, die Kriechzeit (1 000 h) bei der Temperatur von 1 100 °C beträgt 200 - 300 MPa, was viel höher ist als bei herkömmlichen ŽÁTUPEVNÉ-Legierungen. Sie können bei Temperaturen bis zu 1650°C eingesetzt werden.

Whisker sind kurze einkristalline Fasern mit einem Durchmesser von etwa 1 µm. Sie werden in der Regel durch Kristallisation aus der Flüssig- und Gasphase hergestellt. Die bequemste Produktion ist die Herstellung von Saphir (α -Al₂O₃) Whiskern. Sie werden durch Erhitzen von Aluminiumoxid auf 1 300 - 1 500 °C in wasserdampfhaltiger Wasserstoffatmosphäre hergestellt. Das Oxid wird reduziert, Aluminium verdampft und reoxidiert. Aluminiumoxid lagert sich dann in Form von Whiskern im kühleren Teil des Reaktionsraums[59],[60],[61],[62] ab.

Flüsterverstärkte Verbundwerkstoffe sind leicht zu formen und können eine hohe Festigkeit erreichen. So hat beispielsweise Aluminium mit SiC-Whiskern eine Zugfestigkeit von bis zu 600 MPa. Es wurden auch Al₂O₃- oder B₄C-Whisker in Silber und Niobium entwickelt. Verbundwerkstoffe mit Niobmatrizen erwiesen sich bei einer Temperatur von 1100 °C als äußerst spannungsfähige Materialien. Der Hauptnachteil von Whiskern ist ihr hoher Preis.

13. Verbundwerkstoffe II.

13.1. Gesinterte metallische keramische Materialien

Die Pulvermetallurgie ermöglicht es, mehr Arten von neuen Materialien herzustellen, die mit herkömmlichen technologischen Verfahren nicht gewonnen werden können. Dazu gehören auch gesinterte Materialien aus der Mischung Metall und keramische Pulver. Dabei handelt es sich hauptsächlich um gesinterte Hartmetalle für Schneidwerkzeuge und Reibmaterialien zur Herstellung von Bremsbelägen.

Sinterkarbide gehören zu den gesinterten mikroheterogenen Materialien. Sie stellen ein fortgeschrittenes Stadium der harten Werkzeugmaterialien dar. Die Pulvermetallurgie ermöglichte die Herstellung von Werkstoffen, in denen die hohe Härte von Hartkarbiden genutzt wird, die beim Gießen sehr spröde sind. Ausgangsmaterial für die derzeit verwendeten Sinterkarbide sind Partikel aus hochfesten Karbiden aus Wolfram und Titan, die mittels Kobalt verbunden werden. Eine ausreichende Härte und Reduzierung der Sinterkarbidbrüchigkeit ist erreicht, wenn die einzelnen Karbidpartikel die Größe einiger weniger μm nicht überschreiten. Ein steigender Kobaltgehalt erhöht die Biegefestigkeit und reduziert die Härte. Die Härte (ohne Verringerung der Zähigkeit) kann durch das Aufbringen von Hartschichten auf Hartmetallplatten[61],[62] weiter erhöht werden.

Metallische und keramische Reibmaterialien sind gesinterte heterogene Materialien für Kupplungen und Bremsbeläge für sehr effiziente Transportmittel (Flugzeuge, Straßenbahnen), Maschinen und Transportmechanismen. Für diese sind konventionell verwendete nichtmetallische Reibungsmaterialien nicht geeignet, da bei hoher Temperatur ein hoher Reibungskoeffizient erforderlich ist, gute Wärmeleitfähigkeit (zur Leitung der durch Reibung erzeugten Wärme). [61], [62].

13.2. Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix

Es wurden neuartige keramische Materialien entwickelt. Diese werden als "Materialien der dritten Generation" bezeichnet und finden z.B. im Maschinenbau, in der Elektrotechnik und in der Elektronik Verwendung.

Es gibt zwei Gruppen von keramischen Materialien:

- Monolithische keramische Materialien,
- Verbundwerkstoffe.

13.3. Monolithische keramische Materialien

Grundelement dieser Materialien sind Aluminiumoxide, Silikone und anorganische Materialien verschiedener Art. Neben der Entwicklung dieser Materialien wurden auch neue Technologien für ihre Herstellung und Verarbeitung entwickelt. Neue keramische Werkstoffe werden als Strukturkeramik bezeichnet, die aus veredelten oder synthetischen Rohstoffen hergestellt wird. Für die Verarbeitung von Rohstoffen werden spezielle chemische Verfahren sowie mineralische und technische Behandlungen eingesetzt.

Strukturkeramik hat spezifische Eigenschaften, die es ermöglichen, sie zu nutzen:

- In den Bereichen mit priorisierten elektrischen und mechanischen Eigenschaften, d.h. in der Elektronik und Starkstrom-Elektrotechnik.
- Als Schneidstoff. Gesinterte Aluminiumoxide, Siliziumkeramiken und Zirkonium-Aluminium-Keramiken sind beim Schneiden vorteilhafter als Wolframkarbide.
- für Bauteile, die bei hohen Temperaturen arbeiten, wobei insbesondere die Keramikstabilität bei Temperaturen bis zu 1 300o C verwendet wird. Keramik wird z.B. für Turbinenschaufeln, Rotorabdeckungen, Lüfter und deren Hebezeuge in Verbrennungsmotoren verwendet.

13.4. Keramische Verbundwerkstoffe

Ihre Eigenschaften werden durch eine geeignete Anordnung ihrer Struktur - Füllstoffmatrix und Fasern - erreicht. Sie haben eine höhere Festigkeit und Härte als andere Materialien. Dies wird durch die Verstärkung mit Fasern und Whiskern erreicht. Während Polymerverbundwerkstoffe nur bei Temperaturen von maximal 300o C und bei Metallverbunden von 600o C eingesetzt werden können, sind keramische Verbundwerkstoffe auch bei wesentlich höheren Temperaturen stabil.

Es gibt zwei Arten der Herstellung von keramischen Verbundwerkstoffen:

- Pulveraufbereitung des Grundmaterials und Infiltration von Fasersträngen Suspensionen. Sie sind durch Fasern oder Whisker verstärkt, die Verdichtung erfolgt durch Heißpressen;
- Chemische Prozesse - thermische Zersetzung, Reaktionsbindung und chemische Infiltrationstechnik. Hohe Betriebstemperaturen sind nicht erforderlich. Chemi-

sche Prozesse sind im Vergleich zu den vorherigen langsam.

Keramische Verbundwerkstoffe werden mit ähnlichen Technologien wie Metallverbunde hergestellt. Die Oberflächenbeschichtung von Fasern wird verwendet, um die richtige Phasengrenze zwischen einer Faser und der Füllung zu erreichen[61],[62].

13.5. Kohlefaser-Verbundwerkstoffe

Der Ausgangsrohstoff für die Herstellung von Kohlenstofffasern sind drei Materialien:

- Zellulose - die erzeugten Fasern haben eine unvollkommene Struktur, sie werden bei hohen Temperaturen als Isoliermaterial verwendet.
- Polyacrylnitril (PAN) - Standardfasern, seit 1980
- Pech, eine kostspielige Methode der Faserherstellung, deren Endpreis angesichts des niedrigen Preises des Ausgangsmaterials sehr günstig ist. Es hat einen hohen Wert des E-Moduls und sehr gute thermische und elektrische Eigenschaften. Ihre Druckfestigkeit ist im Vergleich zu den Standardfasern deutlich geringer, da die Verbindungen zwischen den einzelnen Graphitschichten reduziert werden. Sie haben einen relativ geringen Marktanteil, HM (mit hoher Flexibilität) Fasern, HT (mit hoher Festigkeit) Fasern werden für spezielle Zwecke verwendet.

Im Allgemeinen zählt die Herstellung von Verbundfasern zu den fortschrittlichsten Produktionstechnologien. Das derzeit am häufigsten verwendete Herstellungsverfahren ist die Faserpyrolyse mittels PAN. Sie werden nach dem Erwärmen gedehnt, um die gewünschte Orientierung der Moleküle zu erreichen. Anschließend ist eine Karbonisierungsstabilisierung für bis zu 10 Stunden bei Temperaturen von 220-230°C erforderlich. Der nächste Schritt beinhaltet das Strecken der Fasern in einer inerten Atmosphäre bei Temperaturen von 1000-1500°C und die Verkokung wird fortgesetzt. Diese Fasern werden als HS-Fasern (hochfest) bezeichnet. Bei Erwärmungstemperaturen über 2500°C in einer inerten Atmosphäre bewirkt die Graphitierung die Bildung einer graphitähnlichen Struktur. Diese Fasern werden als HM-Faser (High Modulus) bezeichnet.

Derzeit ist es möglich, die Fasern nach Kundenwunsch anzupassen. Dazu gehören z.B. hochmodulige Graphitfasern, Hohlfasern, Fasern mit hohem Elastizitätsmodul oder Nanofasern[59],[60],[61],[62].

Abbildung 1 zeigt die Übersicht der Gebrauchseigenschaften von Kohlefasern.

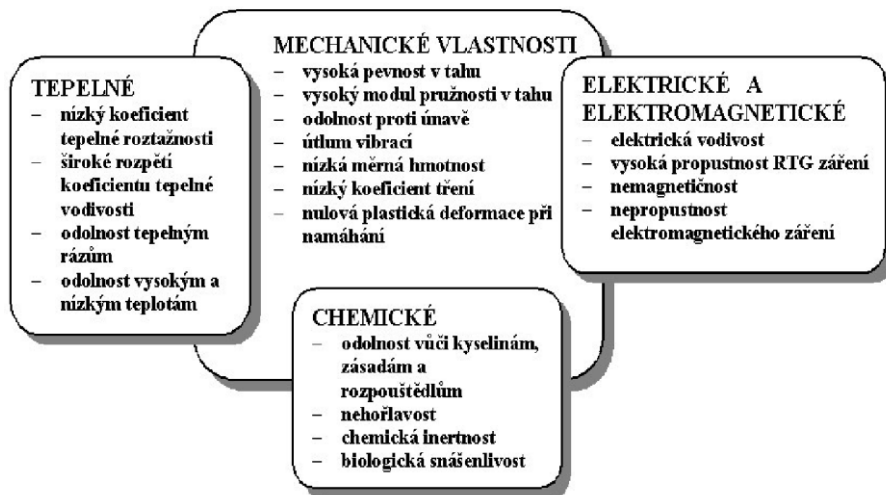


Abbildung 1 Eigenschaften von Kohlenstoffasern und Verbundwerkstoffen[60]

Legende: tepelné vlastnosti (thermische Eigenschaften): nízký koeficient tepelné roztažnosti (niedriger thermischer Ausdehnungskoeffizient), široké rozpětí koeficientu rázů (breite Palette von Rückstellungskoeffizienten), odolnost vůči vysokým a nízkým teplotám (Widerstandsfähigkeit gegen hohe und niedrige Temperaturen)

Mechanické vlastnosti (mechanische Eigenschaften):vysoká pevnost v tahu (hohe Zugfestigkeit), vysoký modul pružnosti v tahu (hoher Zugflexibilitätsmodul), odolnost proti únavě (Ermüdungsfestigkeit), útlum vibrací (Schwingungsdämpfung), nízká měrná hmotnost (geringes spezifisches Gewicht), nízký koeficient tření (niedriger Reibungskoeffizient), nulová plastická deformace při namáhání (keine plastische Verformung bei Belastung)

Elektrické a elektromagnetické (elektrisch und elektromagnetisch): elektrická vodivost (elektrische Leitfähigkeit), vysoká propustnost RTG záření (hohe Röntgendurchlässigkeit), nemagnetičnost (nicht magnetisch), nepropustnost elektromagnetického záření (Nichtdurchlässigkeit elektromagnetischer Strahlung),

Chemické (chemisch): Odolnost vůči kyselinám, zásadám a rozpouštědlům (Beständigkeit gegen Säuren, Basen und Lösungsmittel), nehořlavé (brennbar), chemická inertnost (chemische Trägheit), biologická snášlivost (Biokompatibilität)

Die durch Graphitieren hergestellten Fasern bilden Stränge, die auf Vorgarne aufgewickelt werden. Die Spulen werden dann auf einem Webstuhl platziert, wo der Stoff hergestellt wird.

Durch die Erhöhung der Faseranzahl in der Kette entstehen verschiedene Arten von Faserübergängen. Diese werden als Bindungen[59],[60],[61],[62] bezeichnet. Der Vorteil von Geweben gegenüber unidirektionaler Verstärkung liegt in der einfachen Verarbeitung. Abbildung 2 zeigt die Klassifizierung von Faserverbundwerkstoffen in einem schematischen Diagramm aus geometrischer Sicht.

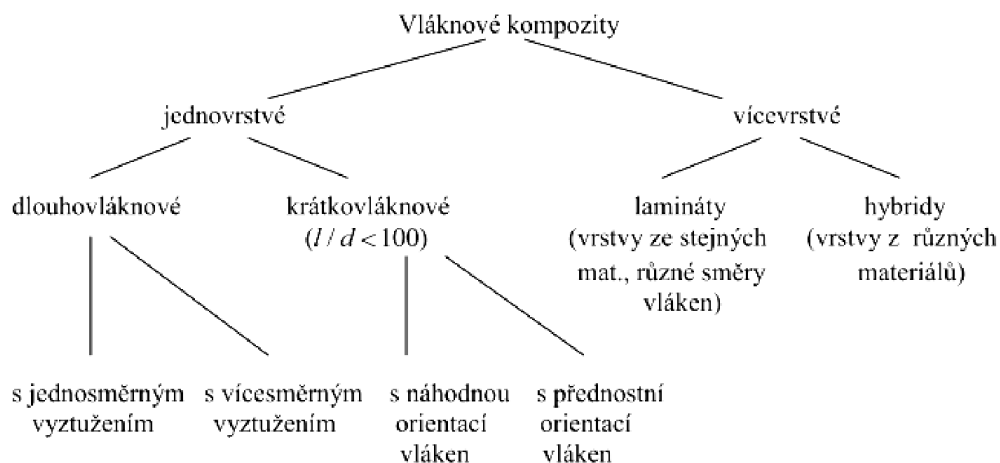


Abbildung 2 Klassifizierung von Faserverbundwerkstoffen aus geometrischer Sicht[61].

Legende: vláknové kompozity - Faserverbundwerkstoffe, jednovrstvé - einschichtig, vícevrstvé - mehrschichtig, dlouhovláknové - langfaserig, krátkovláknové - kurzfaserig, s jednosměrným vyztužením - mit einseitiger Verstärkung, s vícesměrným vyztužením - mit multidirektionaler Verstärkung, s náhodnou orientací vláken - mit zufälliger Faserorientierung, lamináty - Laminate (Schichten aus gleichen Materialien, mit unterschiedlicher Faserorientierung), Hybridy (Schichten aus verschiedenen Materialien)

MASCHINENBETRIEB UND WARTUNG

1. Grundbegriffe

Instandhaltung - Kombination aller technischen, administrativen und Managementtätigkeiten während des Lebenszyklus eines Subjekts, um es zu erhalten oder in dem Zustand wiederherzustellen, in dem es die erforderliche Funktion erfüllen kann.

Instandhaltungsstrategie - Managementmethode zur Erreichung der Ziele der Instandhaltung

Instandhaltungsziele - stellen Sie ein solches System der Sachwertpflege sicher, dass einen realistischen objektiven Überblick bietet und dazu beiträgt, die Gesamteffektivität der Maschinen zu verbessern, löst die Probleme der Maschinen- und Anlagenwartung einschließlich ihrer Auswirkungen auf die Produktivität.

Instandhaltungsphilosophie und -strategie - System und Prinzip der Organisation und Durchführung der Instandhaltung. Sie basiert darauf, die Instandhaltung als Unternehmensproblem zu sehen, das unter optimalen Bedingungen den Betrieb von Maschinen und Anlagen durch eine Reihe von Aktivitäten sicherstellt.

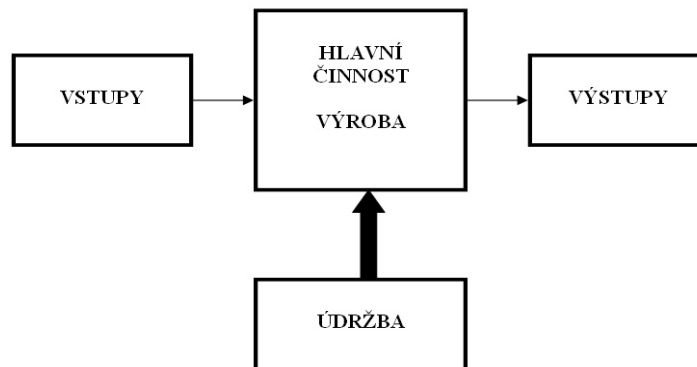
Instandhaltungskonzept - Beschreibung der Beziehungen zwischen dem Ort, an dem die Instandhaltung durchgeführt wird, dem Grad der Aufteilung des Objekts und dem Grad der Instandhaltung, der für die Objektpflege verwendet werden soll.

Nachhaltigkeit - die Fähigkeit des Objekts, in dem Zustand zu bleiben, in dem die erforderliche Funktion ausgeführt werden könnte, wenn die Instandhaltung unter den gegebenen Bedingungen durchgeführt wird und bestimmte Verfahren und Quellen verwendet werden.

Instandhaltungsbereitstellung - die Fähigkeit des Instandhaltungsteams, die Instandhaltung zum erforderlichen Zeitpunkt oder innerhalb des erforderlichen Zeitraums an einem Ort sicherzustellen, an dem die Instandhaltungsarbeiten erforderlich sind.

Sicherstellung der Wartung - dazu gehören Quellen, Service und Management, die für den Betrieb des Wartungssystems erforderlich sind.

Funktion der Instandhaltung im Produktionsprozess



Legende: vstupy - input, hlavní činnost - Haupttätigkeit, výroba - Produktion, výstupy - output, údržba - Wartung

1.1. Grundlegende allgemeine Wartungsanforderungen:

Prozessansatz - Funktionalität und Kompetenz bei optimalen Kosten ist effizienter, wenn die Instandhaltung als Prozess gesteuert wird.

Systemansatz - Die Effizienz und Effektivität der Instandhaltung wird durch das Management zusammenhängender Prozesse verbessert.

Instandhaltungsmanagement - Das Top-Management der Instandhaltung muss das Umfeld im Einklang mit der Gesamtstrategie und dem Konzept des Produktionsmanagements fördern und schaffen.

Einbeziehung aller Mitarbeiter - die Instandhaltung ist ein Thema für das gesamte Personal, nicht nur für die Wartungsarbeiter.

Denk- und Einstellungswandel - Verständnis und Wahrnehmung von Instandhaltung als Ansatz zur Steigerung der Qualifikation aus Sicht der Instandhaltungsarbeit

Entscheidungsfindung auf der Grundlage von Fakten - Datenanalyse mit vordefinierter Sicherheit und deren Anwendung in Informationssystemen, die in Echtzeit arbeiten und für eine Entscheidung notwendig sind.

Kontinuierliche Verbesserung - Verbesserung der Instandhaltungsprozesse in Bezug auf Technologie und Organisation

Förderung guter Lieferantenbeziehungen - Lösung der Instandhaltung durch Zentralisierung und Integration in die Produktion (autonome Instandhaltung) und Trennung (externe Instandhaltung).

3-P-P-Prinzip

PRÄVENTION - Durchführung von Wartungsarbeiten zur richtigen Zeit - im Voraus

PROKTIVITÄT - Suche nach Ursachen für Ausfälle

PRODUKTIVITÄT - richten Sie Wartungsarbeiten so ein, dass die Produktion nicht beeinträchtigt wird.

2. Anforderungen und Sicherstellung der Betriebssicherheit, Wartungstheorie Provozní spolehlivost

"Eine produkt-(maschinen-)charakteristische Eigenschaft, die es ermöglicht, bestimmte Funktionen innerhalb der zulässigen Toleranz unter gegebenen Betriebsbedingungen und erforderlicher Betriebszeit auszuführen." Zu den Haupteigenschaften gehören:

- Funktionalität,
- Sicherheit,
- Zuverlässigkeit,
- Wartbarkeit,
- Bereitschaft.

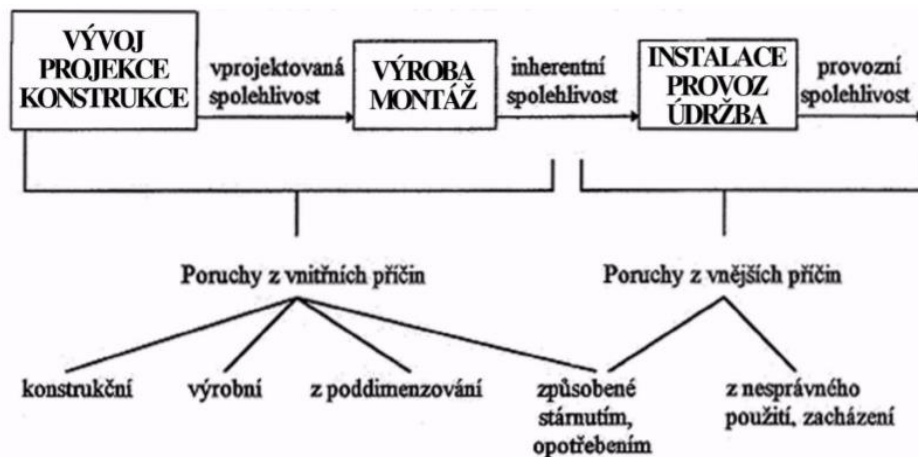
Die Sicherstellung der Betriebssicherheit ist als Systemproblem zu verstehen, bei dem alle miteinander verbundenen Prozesse und Aktivitäten im Kontext gelöst werden.

2.1. Betriebssicherheit und technische Lebensdauer des Objekts

Man kann sagen, dass die Gewährleistung der Betriebssicherheit Teil des technischen Lebens jedes Objekts ist.

Die betriebliche Unzuverlässigkeit kann ganz am Anfang des technischen Lebens des Objekts beginnen.

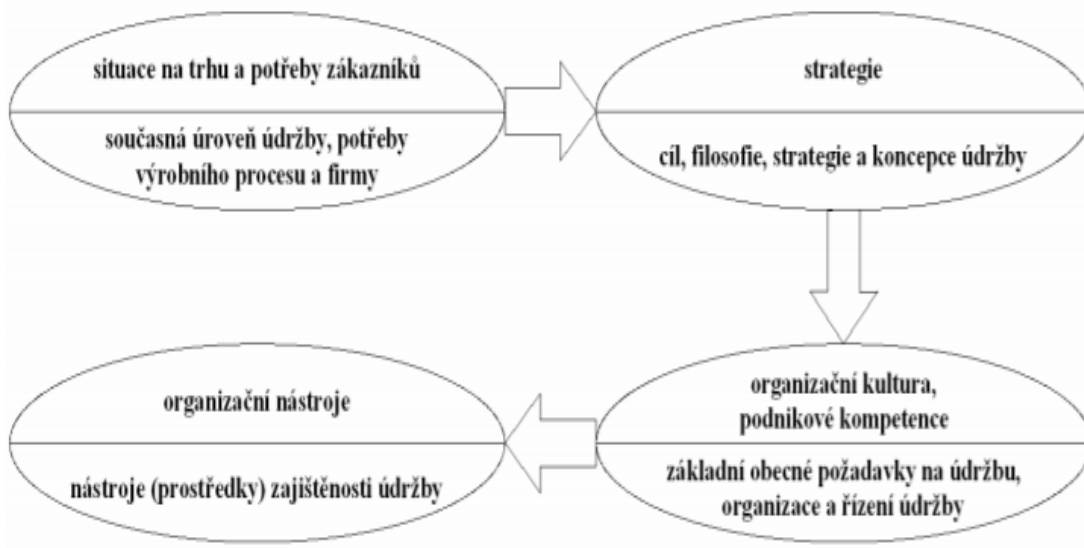
Der Verlauf des technischen Lebens: Er bezieht sich auf die Zuordnung von Zuverlässigkeit und Ausfällen zur grundlegenden Aufteilung des Objektlebenszyklus:



Das Bild zeigt deutlich, was der Begriff Betriebsicherheit bedeutet. Es ist die wichtigste Phase des technischen Lebens einer Maschine, da die Maschine zu einem Produktionsmittel wird = sie schafft einen Wert. Natürlich gibt es eine Rückmeldung zur Betriebsicherheitsüberwachung, die zu einer innovativen Rekonstruktion unzuverlässiger Bauknoten oder ihrer Teile führt.

2.2. Anforderungen an die Betriebsicherheit

Wenn wir der Notwendigkeit eines Systemansatzes für die Instandhaltung als Mittel zur Gewährleistung der Betriebsicherheit gerecht werden wollen, müssen solche Verfahren und Prozesse eingesetzt werden, die es ermöglichen, die Ziele, Strategien und Konzepte zu erreichen (siehe folgende Abbildung).



3. Bewertung der Instandhaltungs-effektivität

Die Instandhaltungskosten sind notwendig für die Wiederherstellung der ursprünglichen Funktion der Produktionsstätte; daher ist es notwendig, sich mit der Aufrechterhaltung der Wirtschaftlichkeit und Bewertung zu befassen.

- Probleme, die es zu lösen gilt:
 - *Instandhaltungskosten x Minimierung der Ausfallzeiten (Maschinenstillstand)*
- Das Verhältnis zwischen Kosten und Aufwand ist nicht eindeutig.
 - direkt (einfach zu berechnen - Ersatzteile, Schmierstoffe,....)
 - schwer abschätzbarer Einfluss der Instandhaltung auf Ausfälle, Qualitätsverschlechterungen, Verluste,.....

Effektiver und produktiver Betrieb bedeutet:

- Vorteile für die Anlage / Maschine
- Vorteile für Menschen (Servicepersonal)
- Vorteile für die Maschinenbedienung

Für die tatsächlichen Kosten gilt, dass 7/8 der Kosten versteckt oder schwer zu identifizieren sind. Dies wird im **DIAGRAM (sogenanntes Eisbergkostenmodell)** deutlich.

Legende:

Snadno měřitelné - einfach zu messen, nízký vliv na zisk - geringe Auswirkungen auf das Ergebnis. Obtížně měřitelné - schwer messbar, vysoký vliv na zisk - hoher Einfluss auf den Gewinn, náklady na mzdy, Material, náhradní díly, externí služby údržby - Lohn, Material, Ersatzteile, externe Wartungskosten, výměna nástrojů, seřizování - Austausch von Werkzeugen, Anpassungen, poruchy - Störungen, dostupnost - Verfügbarkeit, chod naprázdno a kratší odstávky - Leerlauf und kurze Ausfallzeiten, chod při snížené rychlosti - Betrieb mit niedrigerer Geschwindigkeit, míra výkonnosti - Leistungsniveau, zmetky, přepracovaná výroba - Ausschuss, überarbeitete Produkte, ztráty při nájezdu zařízení - Verluste bei Betriebsbeginn, míra kvality - Qualitätsniveau, pozdní dodávky - verspätete Lieferungen, špatný Image podniku - schlechtes Image der Firma, neefektivní využívání kvalifikace - ineffiziente Nutzung von qualifiziertem Personal, nízká pružnost - geringe Flexibilität



3.1. Gesamte Effektivität der Ausrüstung

OEE – „Overall Equipment Effectiveness“ - Nutzungsgrad x Leistungsniveau x Qualitätsniveau x Qualitätsniveau

Auslastungsgrad der Verfügbarkeit - Verluste durch Ausfälle, Rekonstruktionen, Einstellungen und Anpassungen

$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{(\text{Mögliche Betriebszeit} - \text{Ausfallzeit})}{\text{Mögliche Betriebszeit}}$$

Leistungsniveau - Verluste durch ungenutzte Ausfallzeiten, reduzierte Geschwindigkeit und kurze Schließzeiten.

$$\text{Leistungsniveau} = \frac{\text{Anzahl der produzierten Produkte} \times \text{TAKT (idealer Zyklus)}}{\text{Mögliche Betriebszeit} - \text{Ausfallzeit}}$$

Qualitätsniveau - *Verluste durch Ausschuss, Produktionsbeginn, Nacharbeit.*

Qualitätsniveau = $\frac{\text{Anzahl der produzierten Produkte} - \text{Ausschuss} - \text{mehr Arbeit}}{\text{Anzahl der produzierten Produkte}}$

OEE = $\frac{\text{Anzahl der Qualitätsprodukte} \times \text{idealer Zyklus}}{\text{Mögliche Betriebszeit}}$

OEE-Verbesserung um 1 % entspricht 5-20 % der Wartungskosten!

3.2. Umfassende Methoden der Instandhaltungsbewertung

- Gesamte Wartungseffizienz
 - Wartungseffizienzindex
 - Wartungsanzeigekurve
 - Instandhaltungsaudit
- Instandhaltungsrisiken (Bewertungsmethoden)
 - FME/FMECA - Fehlermodusanalyse / Fehlermodus, Auswirkungen und Kritikalität
 - ESTV - Fehlerbaumanalyse
 - ETA - Ereignisbaumanalyse

4. Instandhaltungsrisiken

Gefahr - Fähigkeit des Objekts, ein negatives Phänomen / eine negative Situation zu verursachen.

Bedrohung - mögliche Aktivierung der Gefahr

Risikogerechte Form der gegebenen Tätigkeit (Bewusstsein für das Gefahrenpotenzial und seinen Umfang)

4.1. Fehlerbaumanalyse ESTV - Prozess

- Definition der Fehleranalyse, Identifizierung möglicher Ursachen und Typen
- Entwicklung des Top-Levels zu Low-Level-Phänomenen (Ursachen für übergeordnete Ereignisse werden gesucht)
- Beschreibung der Fehlerursachen (was, wo, wie, wie, warum)
- Durchführung von Analysen, um:
 - Liste der Kombination von möglichen Arten und Fehlerursachen erstellen
 - Wahrscheinlichkeit, mit der die Situation eintreten kann

4.2. Ereignisbaumanalyse ETA - Prozess

- Umkehrprozess zur Freihandelszone: Die Auswirkungen des Komponentenzustands auf das Gesamtsystem werden angestrebt.
- Wird oft als Ergänzung zum Freihandelsabkommen verwendet.

4.3. Risikofaktoren bei der Instandhaltung

- Das Instandhaltungsrisiko ist ein Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Wirkung des Auftretens von Fehlern.
- Wahrscheinlichkeitswert für das Auftreten von Fehlern:

$$P_i = \frac{n_i}{H \cdot N - Pr}$$

- P_i – hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy
- n_i – počet oprav i -té kategorie důležitosti daného uzlu
- H – počet hodin práce za den
- N – počet dní v roce
- Pr – prostoj daného uzlu v dané kategorii důležitosti

Legende:

hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy - Wahrscheinlichkeitswert für das Auftreten von Ausfällen, počet oprav i-té kategorie důležitosti daného uzlu - Anzahl der Reparaturen für das i-te Niveau der gegebenen Hubbedeutung, počet hodin práce za den - Anzahl der Arbeitsstunden pro Tag, počet dní v roce - Anzahl der Tage pro Jahr, prostoj daného uzlu v dané kategorii důležitosti - Ausfallzeit der gegebenen Hubs in dem gegebenen Bedeutungsniveau

- Konsequenz des Ausfalls

$$D_i = \frac{m \cdot c + U_i}{H \cdot N}$$

- D_i – důsledek vzniku poruchy
- m – množství výrobků za rok na daném uzlu
- c – cena výrobku
- H – počet hodin práce za den
- N – počet dní v roce
- U_i – celkové roční náklady na údržbu daného uzlu

Legende:

důsledek vzniku poruchy - consequence of failure, množství výrobků za rok na daném uzlu - number of products per year for the given hub, cena výrobku - product price, počet hodin práce za den - number of work hours per day, počet dní v roce - number of days per year, celkové roční náklady na údržbu daného uzlu - total annual costs of the given hub maintenance

- Das Instandhaltungsrisiko ist ein Produkt der Ausfallwahrscheinlichkeit und ihrer Folgen.

$$R_i = D_i \cdot P_i$$

- R_i – hodnota rizika údržby
- D_i – důsledek vzniku poruchy
- P_i – hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy

Legende:

hodnota rizika údržby - Risikowahrungswert, důsledek vzniku poruchy - Fehlerereignis Folge, hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy - Fehlerereigniswahrscheinlichkeit Wert

5. Instandhaltungsaudit

Es bezieht sich auf die Überprüfung des implementierten Managementsystems der Organisationseinheiten und die Identifizierung möglicher Verstöße gegen die einschlägigen Normen, Dokumentationen usw.

Klassifizierung:

- Systemaudit
- Prozessaudit
- Betriebsprüfung

Das Wartungsaudit umfasst:

- Instandhaltungs-Benchmarking
- Instandhaltungsoutsourcing
- Locators Studie zur Instandhaltung
- Management Wartungsqualität
- Risikoanalyse
- Quantifizierung der Betriebssicherheit

5.1. Benchmarking

Es ist ein kontinuierlicher und systematischer Prozess des Vergleichs und der Messung von Produkten, Prozessen und Methoden des Unternehmens mit denen der Organisationen, die als geeignet für die Zwecke der Definition des Ziels der Verbesserung der eigenen Aktivitäten ausgewählt wurden.

Allgemeines Vorgehen beim Benchmarking

- Bestimmung der zu vergleichenden Positionen
- Bestimmung, mit wem verglichen werden soll
- Erhebung von Daten über die Prozessleistung und die Kundenbedürfnisse
- Prozessvergleiche und Identifikation von möglichen Qualitätsverbesserungen

Benchmarking-Ziele:

- Kosteneinsparung
- Steigerung der Kundenzufriedenheit
- Weltklasse-Performance verstehen
- Bessere Entscheidungsfindung

- Festlegen anspruchsvollerer Ziele
- Beschleunigung des Veränderungsprozesses

5.2. Outsourcing

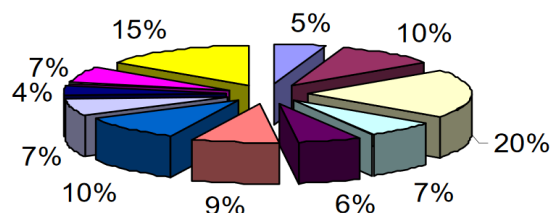
Outsourcing = outside resource using, externe Ressourcen nutzen

- Nutzung externer Ressourcen
- Sicherstellung von Tätigkeiten, die keine Kernkompetenzen des geprüften Unternehmens sind.

Outsourcing-Ziele:

- Ausgewählte Tätigkeiten und Aufgaben schneller, sicherer und wirtschaftlicher ausführen.
- Reduzierung der Anzahl der eigenen Mitarbeiter
- Konzentration der eigenen Quellen auf Schlüsselkompetenzen

Jaké služby se outsourcují?



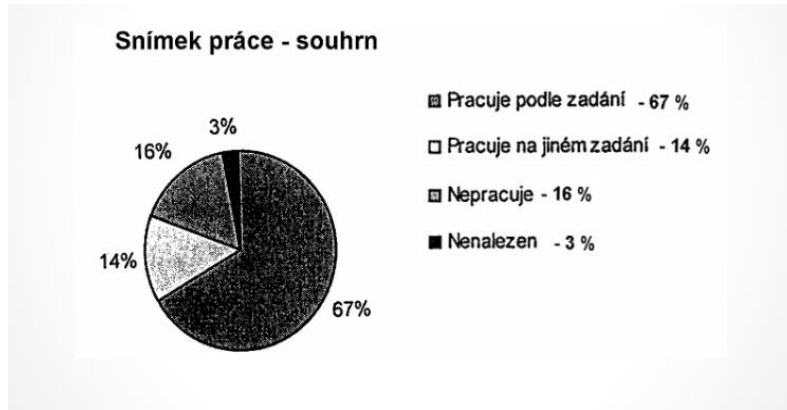
Doprava	Nemovitosti	Informační technologie
Výroba	Marketing a prodej	Human Resources
Distribuce a logistika	Finance	Management
Služby zákazníkům	Administrativa	

Legende:

Jaké služby se outsourcují? - Welche Dienstleistungen werden ausgelagert? Doprava - Transport, výroba - Produktion, Vertrieb einer Logistik - Distribution und Logistik, služby zákazníkům - Kundenservice, nemovitosti - Immobilien, Marketing eines Produktes - Marketing und Vertrieb, Finanzen - Finanzen. Administrativa - Verwaltung, informační technologie - Informationstechnologien, Personalwesen, Management

5.3. Locators Studie zur Instandhaltung

- Studie zur Auslastung des Wartungspersonals
- Die Studie zeigt die tatsächliche Arbeitsbelastung und Auslastung während der Arbeitszeit.



Legende:

snímek práce - souhrn - Übersicht der Arbeitsbelastung, pracuje podle zadání - Arbeit entsprechend der Aufgabe, pracuje na jiném zadání - Arbeit nicht entsprechend der Aufgabe, nepracuje - nicht funktionierend, nenalezen - nicht gefunden

5.4. Risikoanalyse

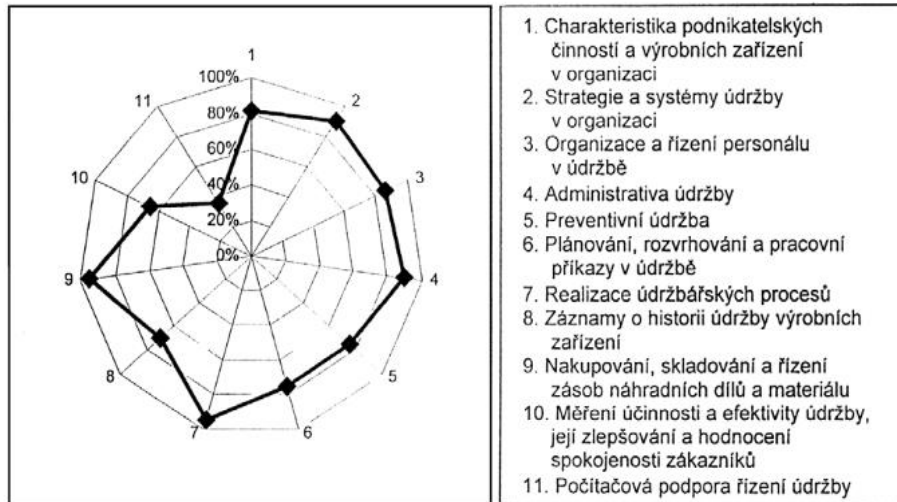
Identifiziert die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls und seine Folgen mit Hilfe der folgenden Methoden: FMEA, FMECA, FTA, ETA, HAZOP, etc.

5.5. Quantifizierung der Betriebssicherheit

Die mathematische Grundlage der Zuverlässigkeitsquantifizierung ist die Anzahl der Wahrscheinlichkeiten und die mathematische Statistik. Diese Werkzeuge sind notwendig für die Beschreibung und Analyse von zufälligen Phänomenen und Prozessen, die den Versagens- und Erneuerungsprozessen entsprechen.

5.6. Qualität des Instandhaltungsmanagements

Es handelt sich im Wesentlichen um die Quantifizierung einer Antwort auf 11 Arten von Problemen, die in das sogenannte radiale Diagramm eingegeben werden.



Legende:

Charakteristika podnikatelských činností a výrobních zařízení v organizaci - Merkmale der unternehmerischen Aktivitäten und der Produktionsausrüstung in Unternehmen. 2. Strategie a systémy údržby v organizaci - Strategien und Systeme der Instandhaltung in der Organisation, 3. Organizace a řízení personálu v údržbě - Organisation und Management des Instandhaltungspersonals, 4. Administrativa údržby - Instandhaltungsadministration, 5. Preventivní údržba - Präventive Instandhaltung, 6. Plánování, rozvrhování a pracovní příkazy v údržbě - Planung, Planung und Arbeitsaufträge in der Instandhaltung, 7. Realizace údržbářských procesů - Durchführung von Instandhaltungsprozessen, 8. Záznamy o historii údržby výrobních zařízení - Aufzeichnungen über die Geschichte der Instandhaltung von Produktionsanlagen, 9. Nakupování, skladování a řízení zásob náhradních dílů a materiálu - Einkauf, Lagerung und Verwaltung von Ersatzteilen und Material, 10. Měření účinnosti a efektivity údržby, její zlepšování a hodnocení spokojenosti zákazníků - Messung der Effizienz und Effektivität der Instandhaltung, ihre Verbesserung und Bewertung der Kundenzufriedenheit, 11. Počítačová podpora řízení údržby - IT-Unterstützung des Instandhaltungsmanagements

6. Zuverlässigkeitsmanagement

6.1. Definition

Zuverlässigkeit - Gemäß ČSN 01010102 ist Zuverlässigkeit definiert als:

"allgemeine Eigenschaft des Objekts, die in der Fähigkeit besteht, die erforderlichen Funktionen zu erfüllen und gleichzeitig die Werte der festgelegten Indikatoren innerhalb vorgegebener Grenzen und Zeiten gemäß den festgelegten technischen Bedingungen zu erhalten."

Diese Definition wird durch mehrere Erläuterungen ergänzt:

- Zuverlässigkeit ist eine komplexe Eigenschaft, die z.B. störungsfreien Betrieb, Lebensdauer, Nachhaltigkeit und Lagerfähigkeit beinhalten kann, entweder einzeln oder kombiniert.
- Technische Bedingungen beziehen sich auf die Spezifikationen der technischen Eigenschaften, die für die spezifische Funktion des Objekts, die Betriebsarten, die Lagerung, den Transport, die Wartung und die Reparatur erforderlich sind.
- Betriebsparameter sind Indikatoren für Produktivität, Geschwindigkeit, elektrische Energie und Kraftstoffverbrauch, etc.

6.2. Tools für das Zuverlässigkeitsmanagement

- Zuverlässigkeitsplan
- Zuverlässigkeitsprogramm
- Zuverlässigkeitsmethoden
- Zuverlässigkeitstests
- Zuverlässigkeitsstandards
- Schulung und Qualifizierung im Bereich der Zuverlässigkeit

6.3. Bedarf an Zuverlässigkeitsmanagement

- Alle Unternehmensbereiche sind an der Gewährleistung der Zuverlässigkeit beteiligt, indem sie Tätigkeiten ausführen, die in einer bestimmten Reihenfolge sowie zu einem bestimmten Zeitpunkt und Umfang durchgeführt werden müssen. Aus diesem Grund müssen diese Aktivitäten so koordiniert werden, dass die vom Kunden geforderte Zuverlässigkeit bereits ab der ersten Zuverlässigkeitsstufe erreicht wird.
- Das Zuverlässigkeitsmanagement erfolgt in Übereinstimmung mit dem für die einzelnen Unternehmensbereiche geltenden System durch unterschiedliche Aufgaben (Anzahl, Schwierigkeit), Befugnisse und Verantwortlichkeiten.
- Das Zuverlässigkeitsmanagement bezieht sich hauptsächlich auf die Koordinierung aller Tätigkeiten und Operationen im Zusammenhang mit der Schaffung und Sicherstellung der Zuverlässigkeit in Übereinstimmung mit Normen und anderen Rechtsvorschriften zur Zuverlässigkeit.
- Sie bezieht sich vor allem auf die Gewährleistung der Zuverlässigkeit in der längsten Betriebsphase.
- Der Zuverlässigkeit muss große Aufmerksamkeit geschenkt werden.
- Je komplizierter die Ausrüstung ist, je ungünstiger die Bedingungen und je gravierender die Folgen der Unzuverlässigkeit sind, desto höher ist die Notwendigkeit oder sogar die Notwendigkeit, den Betrieb der Ausrüstung zu steuern, d.h. gezielt auf die Gewährleistung der Zuverlässigkeit zu reagieren.

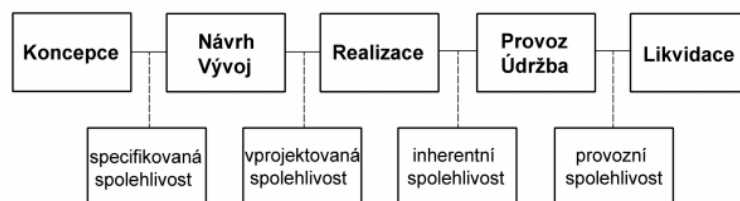
6.4. Zuverlässigkeit in den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus

Zuverlässigkeitsdisziplinen werden in allen Produktlebenszyklen angewendet; der Lebenszyklus kann gemäß der Norm CSN EN 13306 Wartung - **Wartungsterminologie** definiert werden.

Konkret bezieht es sich auf:

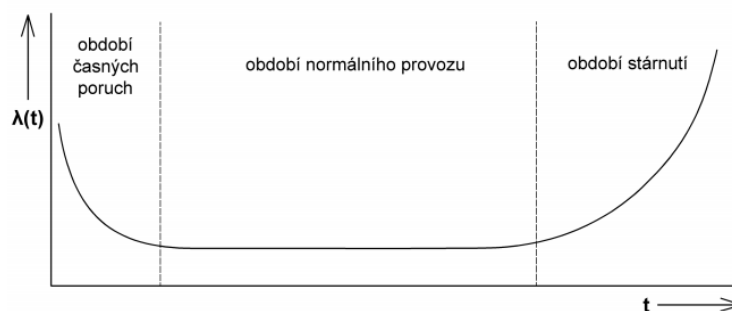
- Konzept (Spezifikation) der Anforderungen an die Ausrüstung, ihre Leistung, Zuverlässigkeit und Lebensdauer - so genannte spezifizierte Zuverlässigkeit.

- Design und Entwicklung der Geräteparameter, Bedingungen für einen störungsfreien Betrieb und Wartbarkeit, sogenannte Zuverlässigkeit "Design".
- Umsetzung (Produktion) - Bedarf, Auswahl und Installation der Anlagen - wir arbeiten mit so genannter inhärenter Zuverlässigkeit.
- Betrieb und Wartung - Prüfmittel und deren Inbetriebnahme; aufgrund unterschiedlicher Bedingungen bei verschiedenen Kunden wird sie als "Betriebssicherheit" bezeichnet.
- Entsorgung - Entsorgung einer nicht funktionierenden oder stillgelegten Maschine



6.5. Badewannenkurve

Es gibt mehr Möglichkeiten, den Lebenszyklus von Geräten zu unterteilen, eine davon ist die Badewannenkurve, die den Lebenszyklus in drei Stufen unterteilt.

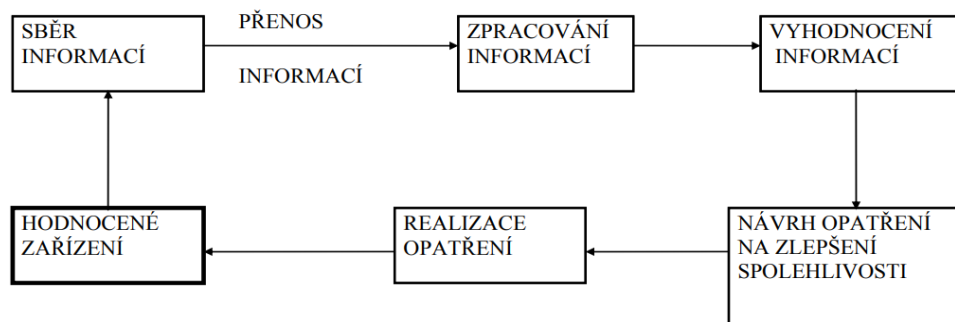


- Stufe I - eine Zeit häufiger Ausfälle. Es sind Merkmale mit einem starken Rückgang der Ausfallrate. Eine hohe Ausfallrate zu Beginn wird durch das Einfahren der Maschine verursacht, wobei Störungen durch Fertigungs-, Montage- oder Konstruktionsfehler auftreten.

- Stufe II - eine Phase des normalen Betriebs. Es bezieht sich auf einen langen Zeitraum, der als Zeitraum der normalen Nutzung bezeichnet wird. Das Gerät wird für seinen ursprünglichen Zweck verwendet, wobei etwa 26 Ausfälle mehr oder weniger konstant auftreten. Diese sind meist auf äußere Ursachen zurückzuführen, es gibt keinen Verschleiß, der die Eigenschaften der Geräte beeinträchtigt.
- Stufe III - eine Phase der Abnutzung. Die Ausfallrate steigt durch Materialalterung und Verschleiß. Nach Überschreitung der zulässigen Ausfallrate wird das Gerät außer Betrieb genommen und entsorgt.

6.6. Feedback

- Ein wichtiger Bestandteil des Zuverlässigkeitsmanagements ist das Feedback.
- Das Feedback ermöglicht es den Abteilungen, die den Betrieb sicherstellen, sich bewusst zu sein:
 - Der Unterschied zwischen der geforderten und der tatsächlichen Zuverlässigkeit
 - Gründe für einen solchen Unterschied



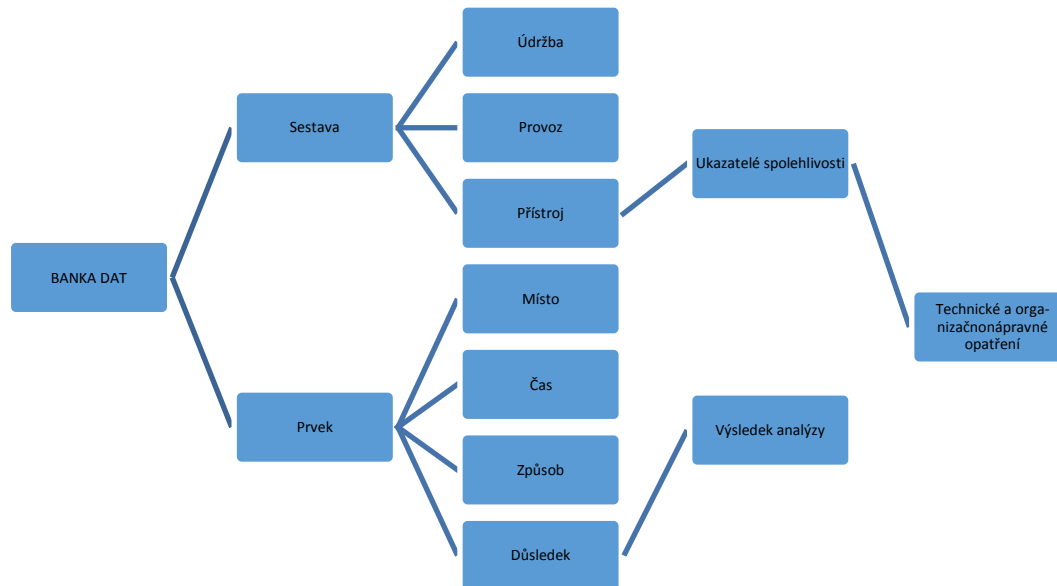
Legende:

sběr informací - Informationssammlung, přenos informací - Informationsübermittlung, zpracování informací - Verarbeitungsinformationen, vyhodnocení informací - Bewertung, návrh opatření na zlepšení spolehlivosti - Maßnahmen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit vorschlagen, Realisierung opatření - Umsetzung von Maßnahmen, hodnocené zařízení - Ausrüstung / Gerät bewertet

6.7. Hintergrundinformationen für das Zuverlässigkeitsmanagement

Wichtiger Teil:

- Analyse der Zuverlässigkeit
- Zuverlässigkeitsdatenbank



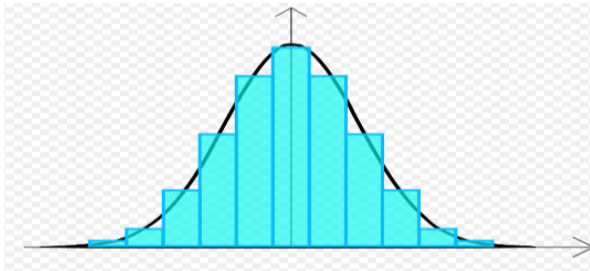
7. Methoden des Zuverlässigkeitsmanagements

Wichtige Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse und Fehlerdiagnose im Rahmen des Zuverlässigkeitsmanagements sind unter anderem folgende:

- Histogramm
- Trend
- Pareto-Diagramm
- Ishikawa-Diagramm

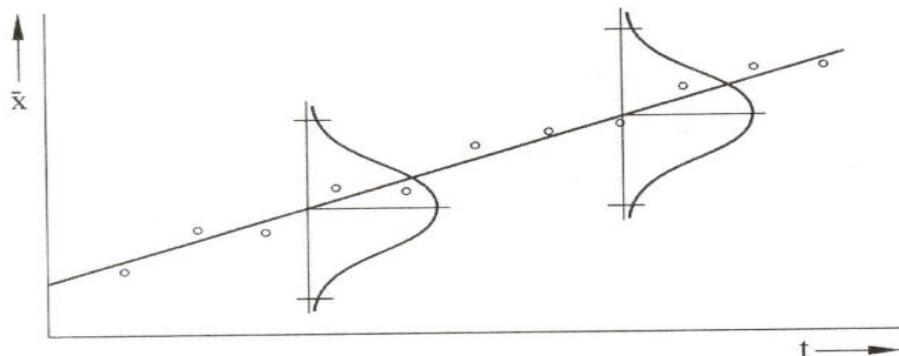
7.1. Histogramm

Das Histogramm ist eine grafische Darstellung der Datenverteilung mittels eines Balkendiagramms mit den gleich breiten Behältern, die die Intervalle (Klassen) ausdrücken, während ihre Höhe die Frequenz der im gegebenen Intervall überwachten Variablen darstellt.



7.2. Trend

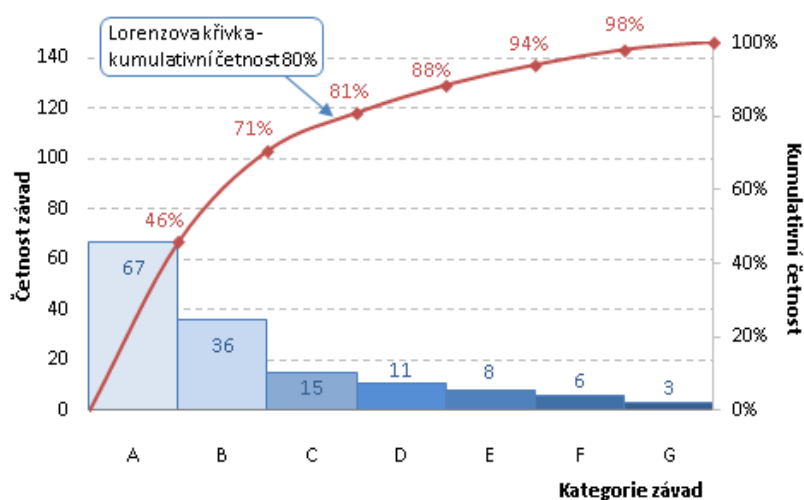
Zeigt die Entwicklung der Zuverlässigkeitsindikatoren im Zeitverlauf an.



7.3. Pareto-Diagramm

Das Pareto-Diagramm, benannt nach Vilfredo Pareto, ist eine Kombination aus Balken- und Liniendiagramm, bei dem die Behälter, die den Kurs für einzelne Kategorien darstellen, nach Größe geordnet sind (der höchste Behälter befindet sich links, der niedrigste rechts) und die Linie den Prozentsatz des kumulierten Kurses darstellt. Das Pareto-Diagramm dient dazu, die Bedeutung der einzelnen Kategorien aufzuzeigen.

Bei der Analyse der Prozessfehlerrate ist ein Pareto-Diagramm zu verwenden, bei dem die Fehler durch viele Faktoren verursacht werden können und es wichtig ist, die wichtigsten zu identifizieren. Bei der Erstellung eines Pareto-Diagramms ist es notwendig, die anzuzeigenden Kategorien, die zu messenden Variablen und den zu überwachenden Zeitraum festzulegen.

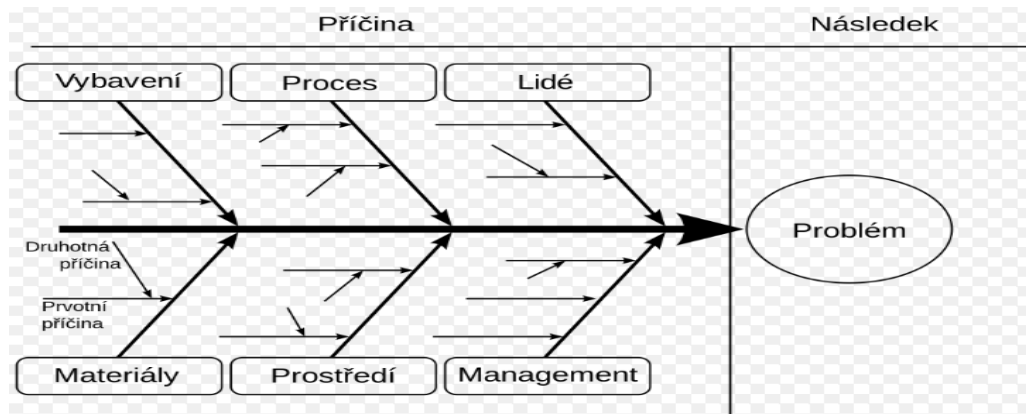


7.4. Ishikawa-Diagramm

Es ist das Ursache-Wirkungs-Diagramm.

Es löst das Problem der Identifizierung der wahrscheinlichen Ursache eines Problems.

Das Ishikawa-Diagramm ist eines der sieben grundlegenden Werkzeuge zur Qualitätsverbesserung.



8. Zuverlässigkeitstests und Testpläne

Die Zuverlässigkeitsprüfung zielt darauf ab, die Informationen zu erhalten, aus denen die Zuverlässigkeitsindikatoren abgeleitet werden, basierend auf der Überprüfung der Ausrüstung während der Zuverlässigkeitsprüfung.

8.1. Klassifizierung von Zuverlässigkeitstests

- Durch die spezifische Eigenschaft wird die Zuverlässigkeitsprüfung angestrebt.
- Durch Entscheidung, wie die Geräte, die während der Zuverlässigkeitsprüfung Fehler aufweisen, behandelt werden sollen.
- Durch die Zuverlässigkeitsprüfungen werden die Ergebnisse
- Durch einen bestimmten Prüfzweck
- An dem Ort, an dem die Zuverlässigkeitsprüfung durchgeführt wird.
- In der Phase der Produktentstehung

Durch die spezifische Eigenschaft, die der Zuverlässigkeitstest anstrebt, werden die Tests weiter unterteilt in Tests von:

- Problemloser Betrieb
- Lebensdauer
- Wartbarkeit
- Reparaturfähigkeit
- Lagerfähigkeit
- Standby

Durch Entscheidung, wie die Geräte, die während der Zuverlässigkeitsprüfung Fehler aufweisen, behandelt werden:

- **ohne Erneuerung** - wenn ein Fehler auftritt, wird die Funktionsfähigkeit des Geräts nicht wiederhergestellt und der Test wird mit einer geringeren Anzahl von geprüften Elementen fortgesetzt.
- **mit Erneuerung** - die Betriebsfähigkeit des Gerätes wird durch Reparatur oder Austausch erneuert.

Durch die Zuverlässigkeitsprüfungen werden die Ergebnisse

- **verkürzte Tests** - sie sind abgeschlossen, bevor ein Ausfall aller getesteten Geräte auftritt.

- **beschleunigt** - diese werden unter verschärften Funktions- und Außenbedingungen durchgeführt, dass sie unter Bedingungen, die im Normalbetrieb nicht auftreten, erfolgen.

Durch einen bestimmten Prüfzweck

- **Bestimmen** - identifiziert den Wert von Zuverlässigkeitsindikatoren für die jeweilige Anlage.
- **Verifizierung** - der Wert der Zuverlässigkeitsindikatoren wird mit dem vorge- oder geforderten Wert verglichen.

An dem Ort, an dem die Zuverlässigkeitsprüfung durchgeführt wird.

- **Labortests** - sie werden unter bestimmten Laborbedingungen durchgeführt.
- **Simulationstests** - diese werden in Labors durchgeführt, wenn diese Bedingungen die Betriebsbedingungen nachahmen.
- **Feldversuche** - sie werden unter festgelegten Betriebsbedingungen durchgeführt.
- **Testbetrieb** - diese werden unter Bedingungen durchgeführt, die dem realen Betrieb entsprechen.

In der Phase der Produktentstehung

- **Entwicklungstests**
- **Produktionstests**

Eine Planung von Zuverlässigkeitstests beschreibt eine Reihe von Hauptaktivitäten, die in chronologischer Reihenfolge durchgeführt werden. Es beinhaltet:

- Beschreibung der erforderlichen Funktion, die das Gerät erfüllen muss.
- Festlegung der Messmethode, die während der Prüfung verwendet wird, um mögliche Fehler zu erkennen.
- Spezifikation und Sicherstellung geeigneter Mess- und Registrierungsverfahren zur kontinuierlichen Überwachung und Aufzeichnung der Betriebsbedingungen, unter denen das Gerät während der Prüfung arbeiten muss.
- Bestimmung eines kritischen Fehlers, d.h. der Grenzen einzelner gemessener Parameter oder anderer Merkmale, die die Funktion der geprüften Geräte charakterisieren, und bei Überschreitung gilt das Gerät als fehlerhaft.
- Festlegung des Prüfplans

8.2. Testpläne

Der Testplan ist eine Reihe von Regeln, die bei der Beschaffung von Daten zur Schätzung von Zuverlässigkeitsindikatoren eingehalten werden müssen.

Der Testplan ist durch eine Kombination von drei Symbolen gekennzeichnet: n - Anzahl der geprüften Geräte, $U/R/M$ - Austausch oder Erneuerung fehlerhafter Komponenten / Elemente, r - wenn die Prüfung bei Auftreten des r -ten Fehlers beendet ist oder t - wenn die Prüfung nach Ablauf der Zeit t beendet ist.

Beispiel:

$[n, U, n]$ - n Objekte werden überwacht. Fehlerhafte Objekte werden nicht erneuert oder ersetzt. Die Überwachung ist beendet, wenn die Anzahl der Fehler n ist.

$[n, U, t]$ - n Objekte werden überwacht. Fehlerhafte Objekte werden nicht erneuert oder ersetzt. Die Überwachung ist beendet, wenn nach dem Zeitraum t .

8.3. Testmethodik

Es enthält hauptsächlich Fachinformationen und technische Unterlagen für die Prüfung:

- Art der Prüfung, Name
- Zweck der Prüfung, Bindung, Gültigkeit, Gültigkeit
- Liste der getesteten und bewerteten Parameter
- Qualitative Parameterwerte
- Testverfahren
- Liste der Prüfmittel, Vorrichtungen und Werkzeuge
- Ein Diagramm der Prüfmittel, die die Verbindung herstellen.
- Spezifikation von Produkten und deren Komponenten, für die die Methodik geeignet ist.
- Algorithmen, mathematische Verfahren und Relationen für die Testbewertung
- Software zur Testauswertung und zum Drucken von Prüfberichten
- Genauigkeit des Prüfverfahrens und entsprechende Richtigkeit des Prüfergebnisses
- Überschrift für die Tabelle zur Testdatenerfassung
- Testbedingungen
- Spezifikation der Testbedingungen
- Belastung der Parameter der Arbeitsumgebung
- geprüfte Stückzahl
- Dauer der Prüfung
- Prüfzyklus
- Kriterien für die Ergebnisbewertung

- Randbedingungen
- Name des Unternehmens und Name des Autors der Methodik, verantwortlicher Mitarbeiter und Unterschrift
- Liste der Normen, Vorschriften und Dokumente, auf deren Grundlage die Prüfmethode erstellt wurde.

9. Modellierung und Quantifizierung der Systemzuverlässigkeit

9.1. Systemzuverlässigkeit

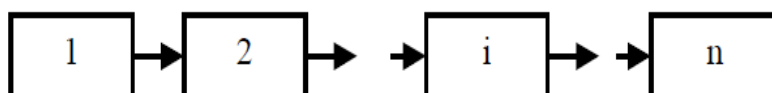
Zuverlässigkeit kann als die Fähigkeit des Systems (Produkt, Komponente, Maschine, Software usw.) angesehen werden, die erforderliche Funktion zu erfüllen. Eine hohe Systemzuverlässigkeit ist insbesondere für Systeme erforderlich, die kritische Anwendungen oder sogar Menschenleben ausführen. Die Zuverlässigkeit des Systems wird durch seine Komponenten und deren Anbindung an das System beeinflusst. Die Zuverlässigkeit des Systems ändert sich auch je nach den Betriebsbedingungen, unter denen das System arbeitet. Ein Beispiel sind Luftfahrtgeräte, die während des Fluges immer wieder dynamischen Veränderungen in ihrer Umgebung ausgesetzt sind. Aus mathematischer Sicht ist Zuverlässigkeit definiert als eine Wahrscheinlichkeit, dass der Systembetrieb während der gegebenen Zeit und unter gegebenen Betriebsbedingungen dem Systemzweck angemessen ist.

Zuverlässigkeitsmodelle

- Serielles Modell der Zuverlässigkeit
- Paralleles Modell der Reliabilität
- Kombiniertes seriell-paralleles System

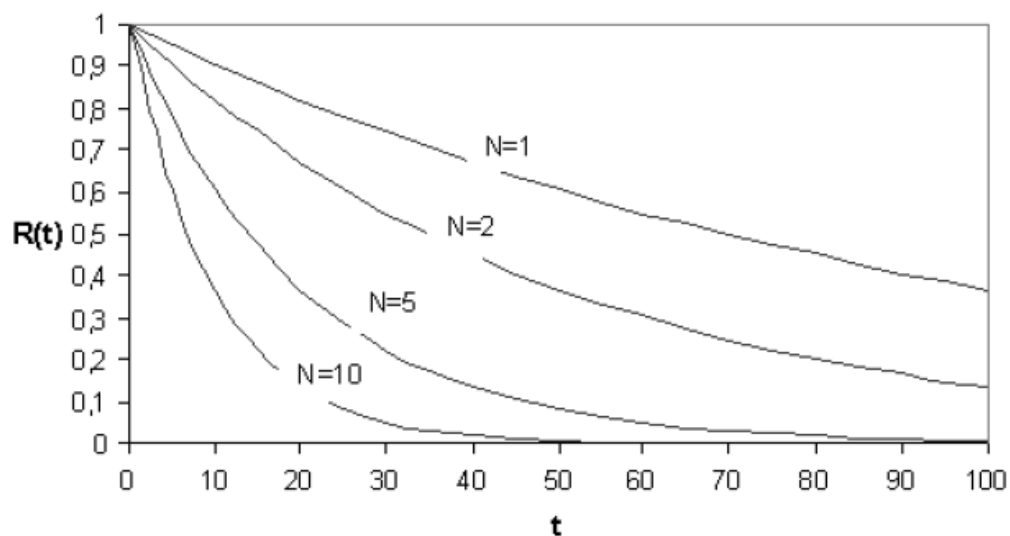
9.2. Serielles Modell der Zuverlässigkeit

Seriell System bezieht sich auf das Verbinden von n Elementen in einer Reihe (nacheinander), wobei ein Ausfall eines Elements den Ausfall des gesamten Systems verursacht. Das Blockschaltbild ist in Bild 4.1 dargestellt. Die Blöcke in der Verbindung entsprechen den einzelnen Elementen. Zwischen Ein- und Ausgang gibt es nur eine Verbindung, die alle Blöcke durchläuft. Dieses System kann auch durch die Grafik im Bild dargestellt werden.



Obr.4.1 Blokové schéma sériového systému.

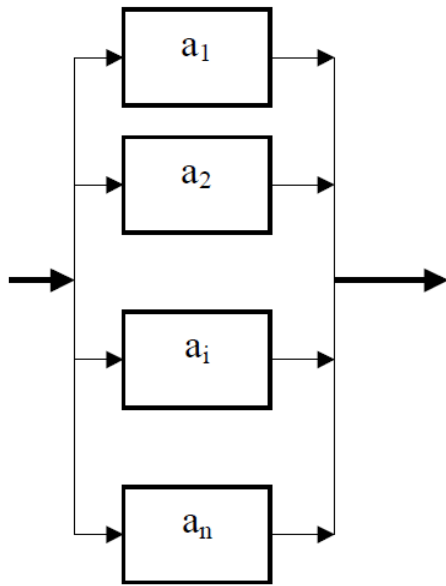
Průběhy $R(t)$ pro sériové spojení jsou pro různý počet prvků uvedeny na obr. 15.



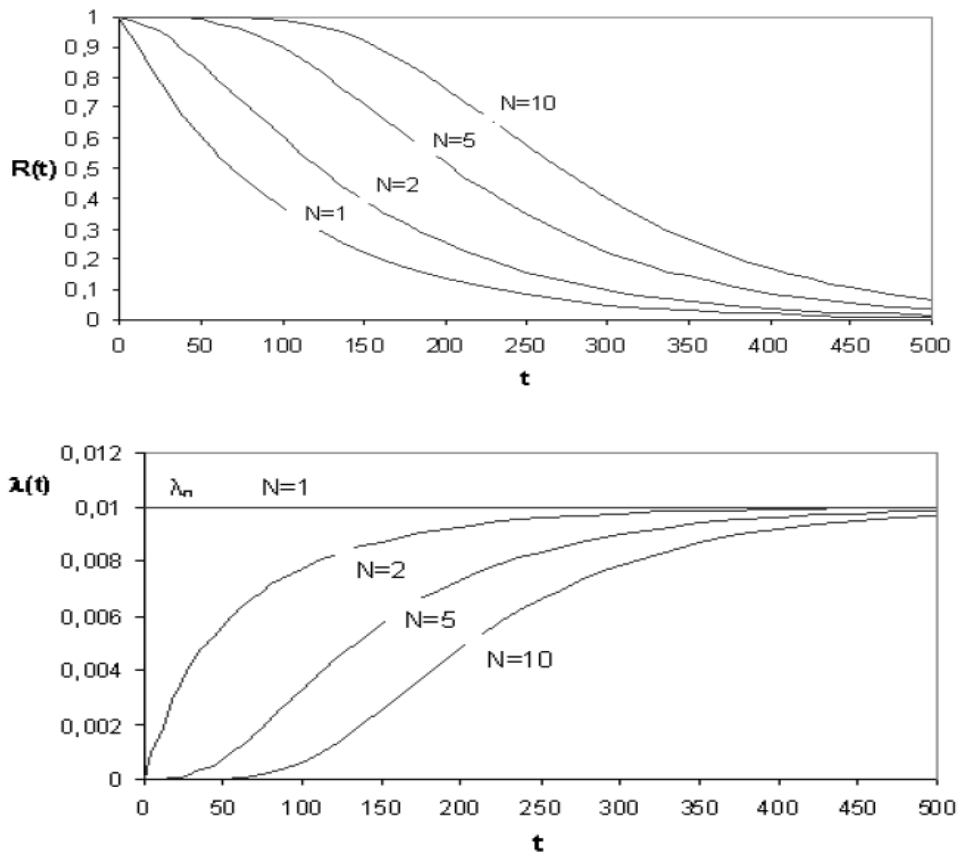
9.3. Parallelní-Modell der Zuverlässigkeit

Das Parallelsystem ist die Verbindung von n Elementen in Parallel (nebeneinander). Ein Systemausfall tritt auf, wenn alle Elemente ausfallen. Das Blockdiagramm und die orientierte Grafik eines parallelen Systems sind in der Abbildung dargestellt.

Um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten, genügt ein voll funktionsfähiges Element. Eine solche Verbindung kann als redundant oder Backup bezeichnet werden, und sie wird auch sehr oft nur zum Zwecke der Sicherung verwendet.



Průběhy pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ pro různý počet paralelně zapojených prvků s exponenciálním rozdělením dob do poruchy jsou vyneseny na obr. 17.

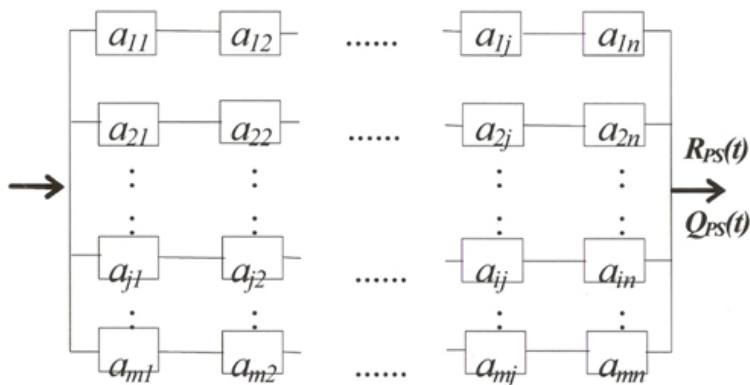


Obr. 17 Průběh $R(t)$ a $\lambda(t)$ pro různé hodnoty počtu paralelně zapojených prvků

9.4. Kombiniertes seriell-paralleles System

Es ist eine Kombination aus serieller und paralleler Verbindung von Elementen in einem Zuverlässigkeitsblockdiagramm. Die Berechnung der individuellen Zuverlässigkeitsindikatoren erfolgt durch schrittweise Vereinfachung der einzelnen seriellen und parallelen Verbindungen bis hin zur vollständigen Vereinfachung.

Bei der Lösung des Problems ist es notwendig, sich schrittweise mit den einzelnen parallelen Elementen und seriellen Ketten zu befassen, während das Verfahren der Methodik zur Multiplikation der Fehler- oder Zuverlässigkeitswahrscheinlichkeit nicht geändert werden darf. Die Umrechnung von einem Parameter in einen anderen erfolgt durch Subtraktion von 1.



Vergleich von $R_{PS}(t)$ und $R_{SP}(t)$

- Bei gleichen Werten von R_{ij} und den gleichen Abmessungen des Systems m ist n der Wert des $R_{SP}(t)$ immer höher als der $R_{PS}(t)$, da es im seriell-parallelen System immer mehr Pfade vom Eingang zum Ausgang gibt.
- Das seriell-parallele System beschreibt eine Sicherung jedes Elements separat, während im parallel-seriellen System immer das gesamte Subsystem gesichert wird.

10. Maschinenleistung

Die Leistung der Maschine muss regelmäßig überwacht werden. Für die Leistungsüberwachung gibt es drei mögliche Methoden.

Die erste Methode besteht in einer halbautomatischen Leistungsüberwachung, bei der die Eingangsdaten, wenn möglich, automatisch eingegeben werden. Die Daten werden elektronisch erhoben. Die Daten werden jedoch teilweise noch manuell durch autorisiertes Personal erhoben. Die gesammelten Daten werden dann von einem kompetenten Mitarbeiter verarbeitet und ausgewertet. Zu diesem Zweck wird die Informationstechnologie in Form von Computern eingesetzt, und die Daten werden auf einer gemeinsam genutzten Diskette gespeichert, auf die andere Mitarbeiter Zugriff haben, oder die Daten werden direkt übertragen.

Die Eingabedaten für die Berechnungen können manuell erfasst werden, und die Berechnungen werden auch manuell mit Hilfe von Papierformularen durchgeführt und auch manuell ausgewertet. Die Daten werden in der Regel nur wenige Male im Jahr an einem ausgewählten Standort im Unternehmen präsentiert. Ein Nachteil einer solchen Methode ist die Abhängigkeit vom menschlichen Faktor, Ungenauigkeit, häufige Datenausfälle aus verschiedenen Gründen und die damit verbundene Unzuverlässigkeit.

Das Verfahren zur automatischen Erfassung der Maschinenleistungsdaten besteht darin, sowohl die Maschinen als auch die Arbeitsplätze mit Terminals auszustatten, an denen die Daten automatisch erfasst werden, nachdem das Produkt die Linie passiert hat. An den Kontrollarbeitsplätzen geben die Mitarbeiter das Datum in den Computer ein. Die Daten werden dann im Informationssystem gesammelt. In diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit eines menschlichen Fehlers vernachlässigbar gering und die Daten zeigen eine hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit. Die Ergebnisse solcher Prozesse werden geschätzt. Ein gewisser Nachteil dieser Datenerhebungsmethode ist der hohe Anschaffungspreis, während die Kosten für die tägliche Datenerhebung nahezu Null sind.

10.1. Elektrischer Strom

Die Maschinenleistung variiert, aber eine Grundlage jeder Maschine ist eine Energiequelle, z.B. ein Servomotor, ein Elektromotor und andere Energiequellen. Im Maschinenbau kann man sagen, dass die Maschinenleistung von elektrischen Quellen bestimmt wird, insbesondere bei Werkzeugmaschinen und anderen Maschinen, die im Maschinenbau eingesetzt werden. Diese Leistung der elektrischen Maschine wird als Nennleistung bezeichnet. Die Nennleistung muss vom Hersteller festgelegt werden. Bei der Bestimmung der Nennleistung muss der Hersteller eine der Nennleistungsklassen wählen. Die Angabe der Klasse muss nach der Nennleistung erfolgen. Liegt keine Anzeige vor, gilt die Nennleistung für Dauerlast. Die Nennleistung kann in vier Klassen für vier Arten von

Stromquellen eingeteilt werden. Bei Gleichstromgeneratoren ist es eine an den Klemmen messbare Nennleistung. Eine weitere Quelle ist ein Wechselstromgenerator, bei dem die Scheinleistung an Klemmen gemessen und in Voltampere ausgedrückt wird, während beim Gleichstromgenerator die Leistung in Watt angegeben wird. Eine der am weitesten verbreiteten Maschinenleistungsquellen sind Elektromotoren, bei denen die Nennleistung eine mechanische Leistung an der Welle des Motors ist, ausgedrückt in Watt. Der vierte Typ, der nicht sehr verbreitet ist, aber erwähnenswert ist, sind Synchronkompensatoren, bei denen die Nennleistung Blindleistung an den Klemmen ist und in Blindspannungsschaltern angegeben wird.

10.2. Nennleistungsklassen

Nennleistung für Dauerlast

Nennleistung, mit der die Maschine unbegrenzt arbeiten kann und gleichzeitig die Anforderungen erfüllt.

Diese Nennleistungsklasse entspricht der Last S1 und wird als Nennleistung für Last S1 bezeichnet.

Nennleistung für Kurzzeitbetrieb

Nennleistung, bei der die Maschine für einen begrenzten Zeitraum, beginnend bei Umgebungstemperatur, arbeiten kann und gleichzeitig die Anforderungen erfüllt.

Diese Nennleistungsklasse entspricht der Last S2 und wird als Nennleistung für Last S2 bezeichnet.

Nennleistung für periodische Belastung

Nennleistung, bei der die Maschine im Arbeitszyklus arbeiten kann und gleichzeitig die Anforderungen erfüllt.

Diese Nennleistungsklasse entspricht einer der periodischen Lasten S3 - S8 und wird als Nennleistung für die jeweilige Lastart bezeichnet.

Wenn nicht anders angegeben, muss die Dauer des Arbeitszyklus 10 Minuten betragen.

Nennleistung für diskontinuierliche Dauerbelastung und Umdrehungen

Nennleistung, bei der die Maschine mit relevanter Last und Umdrehungen des Lasttyps S10 unbegrenzt lange unter Einhaltung der Anforderungen arbeiten kann. Bei der Be-

stimmung der maximal zulässigen Belastung während eines Zyklus ist es notwendig, alle Maschinenkomponenten zu berücksichtigen, z.B. das Isolationssystem in Bezug auf die Exponentialregel für die relativ erwartete thermische Lebensdauer, das Lager in Bezug auf die Temperatur und andere Komponenten in Bezug auf die thermische Ausdehnung. Wenn die maximale Tragfähigkeit in anderen relevanten IEC-Normen nicht angegeben ist, darf sie das 1,15-fache der aus der Lastart S1 resultierenden Last nicht überschreiten. Die Mindestlast kann Null sein, während die Maschine stillsteht oder abgekuppelt ist und nicht funktioniert.

Diese Nennleistungsklasse entspricht der Last S10 und wird als Nennleistung für die Lastart S10 bezeichnet.

Nennleistung für äquivalente Last

Nennleistung für Prüfzwecke, bei der die Maschine unter konstanter Last bis zum Erreichen einer stationären Temperatur arbeiten kann und bei der die gleiche Erwärmung der Statorwicklung wie die durchschnittliche Erwärmung während des Arbeitszyklus mit der angegebenen Lastart.

Eine Maschine, die für den allgemeinen Gebrauch ausgelegt ist, muss eine Nennleistung für Dauerlast aufweisen und unter Lasttyp S1 arbeiten können.

Wenn die Last nicht vom Kunden vorgegeben wurde, wird die Lastart S1 verwendet und die zugeordnete Nennleistung muss die Nennleistung für Dauerlast sein.

Wenn die Maschine für eine Nennleistung für einen kurzen Betrieb ausgelegt ist, muss die Lastart S2 sein.

Wenn die Maschine für Lastwechsel oder für Last einschließlich Leerlaufbetrieb oder Abschaltung ausgelegt ist, muss die Nennleistung die Nennleistung für periodische Last sein, die sich aus der gewählten Lastart S3 - S8 ergibt.

Wenn die Maschine für nicht periodisch wechselnde Last mit wechselnden Drehzahlen einschließlich Überlast ausgelegt ist, muss die Nennleistung die Nennleistung für nicht periodische Last sein, die sich aus der Lastart S9 ergibt.

Wenn die Maschine für diskontinuierliche konstante Last einschließlich Leerlaufbetrieb oder Überlast ausgelegt ist, muss die Nennleistung die Nennleistung mit diskontinuierlicher konstanter Last aus der Lastart S10 übersteigen.

Sx sind die in den Normen angegebenen Lastarten.

11. Leistung und Bedienung von Werkzeugmaschinen

Die Leistung von Werkzeugmaschinen hat immer mehr entscheidenden Einfluss auf die Produktionseffizienz und die Produktqualität. Today´s Kunden suchen Werkzeugmaschinenhersteller, die ihre hohen Leistungsanforderungen erfüllen. Auf dem Weltmarkt wettbewerbsfähig zu sein bedeutet, Werkzeugmaschinen mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit zu produzieren.

Ebenso werden zuverlässigere und energieeffizientere Maschinen und Komponenten benötigt. Die Betreiber benötigen eine weniger anspruchsvolle Wartung, geringe Umweltbelastung und niedrige Betriebskosten, von denen die Wirtschaftlichkeit abhängt.

11.1. Maschinenleistung

Die Arbeitsleistung Q von automatisierten Produktionslinien ist eine Leistung, die im tatsächlichen Betrieb erreicht wird. Wird als grundlegend angesehen und besteht aus bestimmten technologischen, zyklischen und tatsächlichen Leistungen.

Technologische Leistung - bezieht sich auf eine Reihe von Werkstücken, die mit einer bestimmten Ausrüstung pro Zeiteinheit bearbeitet werden, wobei die Möglichkeiten des technologischen Prozesses voll ausgeschöpft werden.

Zyklusleistung - beschreibt die maximale Leistung bei Erreichen aller geplanten Parameter bei störungsfreiem Betrieb. Die Bestimmung der Zyklusleistung ergibt sich aus der Annahme, dass die automatisierte Linie kontinuierlich ohne Störungen und Ausfallzeiten arbeitet.

Die tatsächliche Leistung - ist durch die Arbeit unter realen Bedingungen gegeben, wenn es notwendig ist, sowohl den Dauerbetrieb als auch den Betrieb mit Ausfallzeiten durch Werkzeugwechsel, Einstellung usw. zu berücksichtigen.

Einzelne Betriebsunterbrechungen von automatisierten Produktionslinien werden als Off-Cycle-Verluste bezeichnet.

Sie können sich auf Werkzeuge (Austausch, Einstellung usw.), auf Maschinen und deren Zubehör (Fehler bei Mechanismen und Steuerungen) beziehen, technisch und organisatorisch, verursacht durch die Ausschussrate, bezogen auf die Änderungen des Produktionsprogramms.

Obwohl alle Maschinen der Produktionslinie die gleichen Verluste aufweisen, kann die Leistung aufgrund der unterschiedlichen Struktur der Linie unterschiedlich sein. Die einzelnen Maschinen haben nicht nur aufgrund ihrer eigenen Verluste, sondern auch aufgrund anderer Maschinen, die ihre Funktionen nicht erfüllen, Ausfallzeiten. Dadurch entstehen zusätzliche Verluste, deren Ausmaß von der Struktur der Produktionslinie abhängt.

Off-Cycle-Verluste bestehen aus:

- Erwartete Eigenverluste - z.B. Beginn des Linienbetriebs vor Erreichen der Arbeitstemperatur, Schichtwechsel, geplante Wartung, Werkzeugwechsel, Überprüfung von Maschinenknoten, etc.
- Zufällige Eigenverluste - Werkzeugausfälle (Klingenbruch), Mechanikausfälle einiger Maschinen in der Linie, Ausschuss usw.

Die Maschinenleistung wird durch die folgenden drei grundlegenden Bereiche des Arbeitszyklus beeinflusst:

Automatisierter Arbeitszyklus, Funktionsablauf auf der Maschine, Spannen und Handhaben von Werkstücken, Manipulation mit Werkzeugen und Messen der Werkstückabmessungen, Position der Werkzeugklänge.

Für den Anwender ist die Gesamtleistung einer modularen Einzweckmaschine wichtig, bestimmt durch:

Erforderliche Anzahl der auf einer bestimmten Maschine produzierten Werkstücke pro Zeitabschnitt, Maschinenverschiebbarkeit.

Hier wird die Gesamtleistung als Zeitaufwand für die Herstellung eines Werkstücks mit der jeweiligen

Maschine berechnet:

$$tpc = (60 * Sp * H * Dd * \tau) / Nr$$

wobei:

tpc - die maximale Gesamtzeit für die Herstellung eines Werkstücks ist.

Sp - Anzahl der Arbeitsschichten pro 1 Tag

H - Anzahl der Arbeitsstunden pro Schicht

Dd - Anzahl der Arbeitstage im Jahr

τ - Nutzungskoeffizient der Maschine (0,7 - 0,85)

Nr - erforderliche Jahresproduktion (Stück).

11.2. Maschinenbedienung

Der Maschinenbetrieb bezieht sich auf die Zeit, in der die Maschine in der Lage ist, ein Produkt herzustellen oder Tätigkeiten auszuführen, für die sie bestimmt ist. Der Einsatz von Maschinen hängt von der regelmäßigen und ordnungsgemäßen Wartung der Maschinen ab. Die Maschinen als solche sind so konzipiert, dass sie unmittelbar nach dem Einschalten einsatzbereit sind, einschließlich der anfänglichen Einstellung der Parameter.

Maschinenwartung

Allgemeine Definition der Instandhaltung: Instandhaltung ist eine Kombination aller technischen, administrativen und betriebswirtschaftlichen Tätigkeiten während des Lebenszyklus des Objekts, die darauf abzielen, es zu erhalten oder in den Zustand zurückzusetzen, in dem es in der Lage ist, die erforderliche Aufgabe oder Funktion zu erfüllen.

Ziel der Instandhaltung ist es, die Produktionsanlagen technisch einwandfrei und betriebsbereit bei optimalen Kosten zu halten.

Die Bereitschaft ist eine Fähigkeit der Maschine, sich unter bestimmten Bedingungen, zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem bestimmten Zeitintervall in dem Zustand zu befinden, in dem sie die erforderliche Funktion erfüllt, vorausgesetzt, dass die erforderlichen externen Ressourcen sichergestellt sind. All dies hängt von der Zuverlässigkeit, der Wartbarkeit und der Sicherstellung der Wartung ab.

Zuverlässigkeit oder störungsfreier Betrieb ist gewährleistet.

Zuverlässigkeit oder störungsfreier Betrieb ist die Fähigkeit der Maschine, die erforderliche Funktion unter bestimmten Bedingungen und in einem bestimmten Zeitintervall zu erfüllen. Instandhaltbarkeit ist die Fähigkeit der Maschine, in dem Zustand zu bleiben oder wiederhergestellt zu werden, in dem sie unter bestimmten Bedingungen die erforderliche Funktion erfüllen kann.

Richtige Grundsätze der Maschinenwartung

Bei der Installation und Übergabe der neuen Maschine hat der Lieferant auch die Informationen und Anweisungen über die regelmäßige Wartung der Maschine sowie die Art und die einzelnen Tätigkeiten und Funktionen der Maschine an das Servicepersonal oder die verantwortliche Person weiterzugeben.

Wie jede andere ausgeführte Tätigkeit muss auch die Wartung von Werkzeugmaschinen den festgelegten Regeln und Grundsätzen entsprechen, zu denen die folgenden gehören:

Regelmäßige und effiziente Wartung, bestehend aus der Erstellung eines Wartungsplans und seiner strikten Einhaltung, der Führung eines Betriebsprotokolls für jede Maschine, in dem jede wartungsbezogene Tätigkeit aufzuzeichnen ist. Es sollte auch jede zufällige oder schwerwiegendere Fehlermeldung aufgezeichnet werden. Die Aufzeichnungen werden dann von den Servicetechnikern verwendet, um die einzelnen Fehler zu identifizieren und zu beheben, das Ersatzteilregister, das als Verschleiß durch den Maschinenbetrieb geführt wird, zu kennzeichnen und die einzelnen Funktionen der Maschine zu spezifizieren, um einen komplexen Überblick über die an den einzelnen Maschinen durchgeführten Serviceeinsätze und die Kosten für die Behebung der Mängel, die sofortige Behebung des festgestellten Fehlers und im Falle einer notwendigen fachlichen Intervention den Servicetechniker zu kontaktieren.

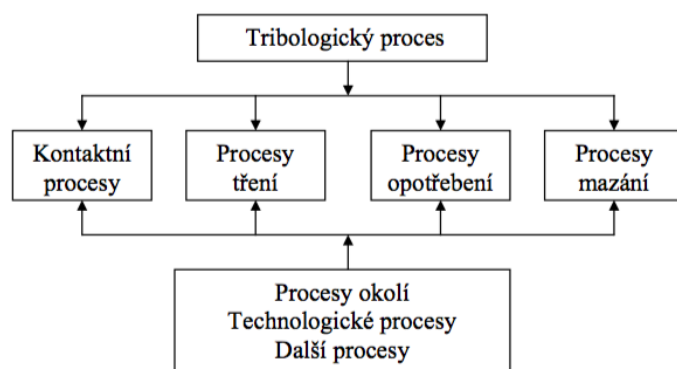
Die Wirksamkeit regelmäßiger Wartungs- und Kontrollmessungen wurde in mehreren Bereichen nachgewiesen: Erhöhung der Lebensdauer der Maschine, langfristige Sicherstellung der Maschinengenauigkeit, Reduzierung der Ausschussquote, Kosteneinsparung, Gewährleistung der Arbeitssicherheit.

Die Unternehmen, die bereits eine regelmäßige und qualitativ hochwertige Maschinenwartung in ihren Produktionsanlagen durchgeführt haben, weisen erhebliche Einsparungen bei den Kosten für Maschinenreparaturen auf, verglichen mit der Situation, in der die Maschinenwartung nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Heute können sie nachweisen, dass die Anfangsinvestition tatsächlich Geld spart. Der Mangel an regelmäßiger Wartung führt zu einem geringen Maschinenbetrieb.

12. Tribologie und tribotechnik

12.1. Tribologie

- Die Tribologie ist eine Disziplin, die sich mit Reibungs-, Verschleiß- und Schmierprozessen beschäftigt.
- Gleiten, Rollen, Schlagen und Oszillieren
- Maschinenbau - Konstruktion von Lagern, Kolbenmotoren und anderen Geräten, Maschinen und deren Komponenten
- Kosmetik - Lippenstifte, Spülungen, Puder, Puder
- Medizin - Gelenkersatz

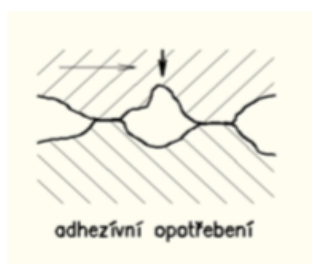


Legende:

tribologický proces - Tribologieprozess, kontaktní Prozess - Kontaktprozesse, Prozess tření - Reibung, Prozess opotřebení - Verschleiß, Prozess mazání - Schmierung, Prozess mazání - Umgebungsprozesse, technologické Prozess - technologische Prozesse, další Prozess - andere Prozesse

Verschleiß

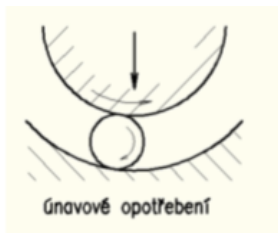
Klebstoffverschleiß - ist gekennzeichnet durch das Trennen und Verdrängen von Metallpartikeln zwischen zwei Kontaktflächen.



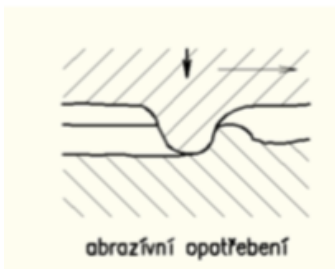
Erosiver Verschleiß - er tritt auf, wenn im strömenden Medium enthaltene Partikel auf die Funktionsfläche fallen.



Ermüdungsverschleiß - entsteht durch allmähliche Zusammenführung von Ausfällen in der Oberflächenschicht des Funktionsbereichs.



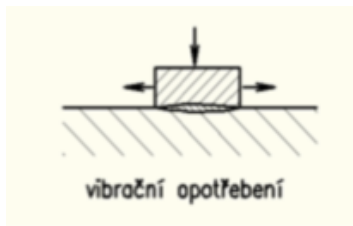
Abrasiver Verschleiß - Abscheidung von Materialpartikeln durch harte und raue Oberfläche



Kavitationsverschleiß - Abscheidung von Materialpartikeln durch die Kavitation des strömenden Mediums



Fretting - Trennung von Materialpartikeln zwischen zwei Kontaktflächen durch gegenseitige oszillierende Bewegung



12.2. Tribotechnik

- Eine der tribologischen Disziplinen, die sich mit der Anwendung von tribologischen Ergebnissen in der Praxis beschäftigt.
- Erheblicher Beitrag zu einem effizienteren Einsatz von Maschinen in der Industrie

Tribotechnics beschäftigt sich mit:

- Schmierstoffe und Schmierstoffprüfungen
- Materialien für Reibpaarungen
- Berechnung, Konstruktion und Optimierung von Reibpaarungen
- Schmierverfahren und Schmiersysteme
- Wissenschaftliche Grundlagen für Reibung und Verschleiß
- Mess- und Regelverfahren für tribotechnische Prozesse
- Spezielle technologische Verfahren zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit
- Organisation der Schmiertechnik im Betrieb

Wirtschaftliche Bedeutung

Mit der richtigen Anwendung lassen sich in einer Reihe von Bereichen erhebliche Einsparungen erzielen:

- Reduzierung des Energieverbrauchs, der für den Betrieb der Maschinen erforderlich ist.
- Erhöhung der Lebensdauer von Maschinen und Geräten
- Reduzierung der Stillstandszeiten durch Ausfälle und notwendige Reparaturen
- Reduzierung der Instandhaltungskosten und der Kosten für Maschinenreparaturen
- Erhöhung der Genauigkeit der Maschinen
- Reduzierung der Investitionskosten
- Reduzierung der Kosten für den Kauf geeigneter Schmierstoffe

Schmierstoffe

Die Hauptfunktion von Schmierstoffen ist:

- Zur Reduzierung der Reibung an der Kontaktstelle von zwei Objekten
- Um die Wärmeabfuhr zu gewährleisten
- Zur Entfernung von Schmutz von der Reibungsfläche
- Zum Schutz der Metalloberfläche vor Korrosion
- Zur Abdichtung von geschmierten Oberflächen

Es gibt verschiedene Schmierstoffe, die auf ihre Art, ihre Eigenschaften und ihre Fähigkeit, die gewünschte Funktion zu erfüllen, abgestimmt sind:

- Flüssige Schmierstoffe (Schmieröl, Schneidflüssigkeiten)
- Kunststoffschmierstoffe (Fette)
- Festschmierstoffe (z.B. Graphit, MoS₂)
- Gasschmierstoffe (z.B. Luft).

BLECHVERARBEITUNG

1. Wärmebehandlung

1.1. Zweck und grundlegende Klassifizierung der Wärmebehandlungsmethoden

Durch die richtige Verwendung von Metall- und Legierungseigenschaften ist es möglich, z.B. das Gewicht einer Maschine oder Maschine zu reduzieren oder kostengünstigere Materialien zu verwenden. Beides führt zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Produktion.

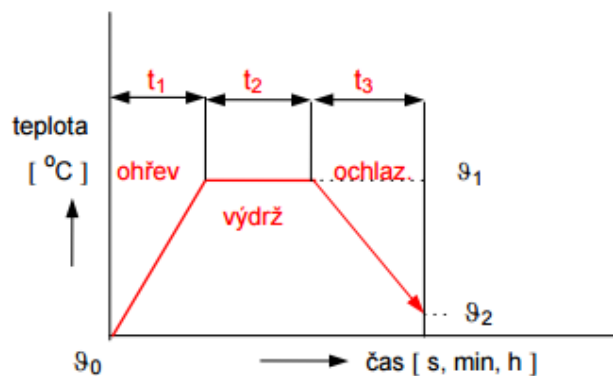
Die Wärmebehandlung umfasst alle Prozesse, bei denen ein Objekt oder Material im festen Zustand auf eine bestimmte Weise erwärmt und gekühlt wird, um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen.

Es beinhaltet immer die folgenden Prozesse:

- Erwärmen auf eine bestimmte Temperatur
- Aufrechterhaltung dieser Temperatur
- Abkühlung auf eine bestimmte Temperatur bei einer bestimmten Geschwindigkeit

In einigen Fällen können diese Prozesse unter verschiedenen Bedingungen mehrmals wiederholt werden.

Die Kühl- oder Heizgeschwindigkeit wird mit hoher Geschwindigkeit in $^{\circ}\text{C}/\text{s}$, mit niedriger Geschwindigkeit in $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ oder $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ angegeben.



Legende: *teplota* - Temperatur, *ohřev* - Heizung, *výdrž* - Temperaturerhaltung, *ochlaz.* -

Kühlung, čas – Zeit

Obwohl beide Geschwindigkeiten nicht gleichmäßig sind (sie hängen vom momentanen Temperaturgradienten ab), betrachten wir hauptsächlich die Durchschnittsgeschwindigkeit, die sich wie folgt berechnet:

a) při ohřevu

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$$

b) při ochlazování

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{t_3}$$

kde: ϑ_0 je výchozí teplota před ohřevem

ϑ_1 je teplota ohřevu

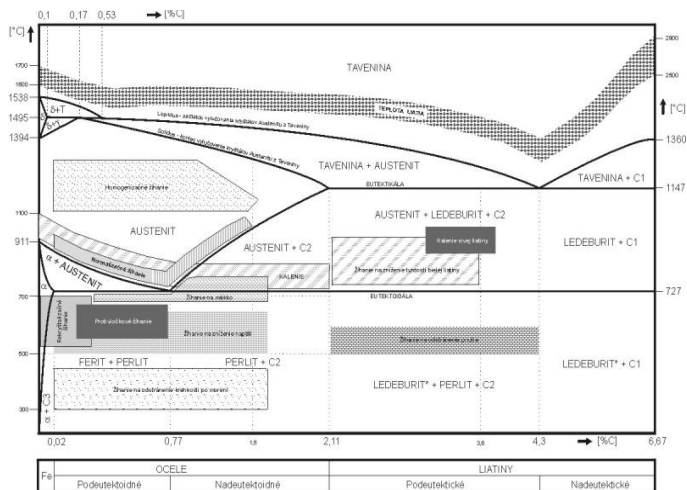
ϑ_2 je požadovaná teplota na konci ochlazování

Legende: při ohřevu - in der Heizung, při ochlazování - in der Kühlung, kde - wo, výchozí teplota před ohřevem ohřevem - Starttemperatur vor dem Heizen, teplota ohřevu - Heiztemperatur, požadovaná teplota na konci ochlazování - Solltemperatur nach dem Kühlen

Die Wärmebehandlung beeinflusst mechanische Eigenschaften wie Festigkeit, Härte, Duktilität, Kerbzähigkeit, Verschleißfestigkeit, etc. In vielen Fällen treten Strukturveränderungen auf, weshalb Kenntnisse über Gleichgewichtsdiagramme und Phasenänderungen erforderlich sind.

Da das Gleichgewicht der Phasenänderungen im festen Zustand vollständig durch Diffusion bestimmt wird, ist es für das Ergebnis der Wärmebehandlung wichtig, welche Wirkung die Diffusion haben wird. Der Verlauf der Diffusion wird sowohl von der Temperatur als auch von der Dauer (Zeitspanne), in der die Temperatur gehalten wird, beeinflusst. Durch die Beeinflussung der Diffusion wird die Wärmebehandlung in zwei grundlegende Gruppen eingeteilt:

- thermische Behandlungsmethoden, die die Diffusion verstärken und sie nur geringfügig behindern. Diese Verfahren werden im Allgemeinen als Glühen bezeichnet.
- thermische Behandlungsverfahren, die die Diffusion erheblich behindern oder vollständig stoppen. Der Nichtgleichgewichtszustand der Legierung ist im Allgemeinen umso größer, je höher die Abkühlgeschwindigkeit ist. Die Hauptmethode ist das Abschrecken.



1.2. Glühen

Das Ziel des Glühens ist meist:

- Zur Reduzierung der Eigenspannung,
- Um die Folgen der vorhergehenden mechanischen Bearbeitung zu vermeiden,
- Verbesserung der technologischen Eigenschaften (Kaltumformung, Bearbeitung),
- Zur Verringerung der chemischen und strukturellen Heterogenität.

Der entscheidende technologische Parameter des Glühens ist die Temperatur und die Zeit bei der Temperatur, wenn die Abkühlung sehr langsam ist. Die Glühtemperaturen der einzelnen Verfahren ergeben sich aus dem Gleichgewichtsdiagramm von Fe-Fe₃C.

Alle Glüharten können durch die Glühtemperatur dividiert werden:

- Glühen zur Reduzierung der Eigenspannung. Ziel ist es, die Eigenspannungen im Material während der Gusserstarrung, der Abkühlung nach der Kalt- und Warmumformung und in den Deckschichten nach der Spanbearbeitung zu reduzieren. Bei der Glühtemperatur von 450 - 650 °C ist die Streckgrenze so niedrig, dass die Eigenspannung durch lokale plastische Verformung reduziert werden kann. Je nach Größe, Form und Material sind 2 - 10 Stunden Verbleib auf der Temperatur bei langsamer Abkühlung erforderlich, um neue Eigenspannungen zu vermeiden.
- Rekristallisationsglühen. Es bezieht sich hauptsächlich auf das Zwischenglühen beim Kaltumformen von kohlenstoffarmem Stahl, das die Härtung beseitigt und die Verformbarkeit und Duktilität wiederherstellt. Dies geschieht durch die Erwärmung auf die Rekristallisationstemperatur (550 - 700 °C), mit einer Dauer von 1 - 5 Stunden. Mit dieser Methode ist es möglich, die Form und Größe des Kornes signifikant zu verändern. Der Zweck des Glühens ist in der Regel die Verfeinerung

des Korns.

Weichglühen

Die Oberflächenspannung bewirkt die Sphäroidisierung von Eutektoidkarbidpartikeln. Durch die Umstellung von lamellarem Perlit auf Kornperlit ist es möglich, die Kaltumformmöglichkeit in kohlenstoffarmem Stahl und die Bearbeitungsmöglichkeit in Stahl mit einem C-Gehalt von über 0,4 % zu verbessern. Darüber hinaus ermöglicht das Glühen die Vorbereitung einer geeigneten Ausgangsstruktur für das anschließende Abschrecken, insbesondere bei Eutektoid- und Übereutektoidstahl. Die gleichmäßige Verteilung der körnigen Hartmetalle in der ferritischen Grundmasse erleichtert die anschließende Austenitisierung und verbessert die allgemeinen Eigenschaften nach dem Abschrecken, das insbesondere bei Lagerstählen erfolgreich eingesetzt wird. Die Glüh-temperatur ist nahe der Eutektoidtemperatur.

Die Erhöhung der Temperatur über A_{c1} oder deren Schwankung um diese Temperatur herum erleichtert und beschleunigt das Auflösen von Hartmetallteilchen. Die Glühzeit unterscheidet sich je nach Stahlart und vorheriger Wärmebehandlung von 4 h bei Kohlenstoffstahl bis 16 h bei hochlegierten Stählen. Das Glühen wird durch langsames Abkühlen im Ofen beendet.

Anti-Flake-Glühen

Es wird bei überkritischem Wasserstoffgehalt im Stahl eingesetzt, wenn Stahl anfällig für die Bildung von Innenrissen - Flocken - ist. Die Bildung von Flocken kann durch eine Langzeitbeheizung (bis zu zehn Stunden) bei Temperaturen von 650 - 750 °C verhindert werden, bei der durch eine deutliche Erhöhung der Wasserstoffdiffusionsfähigkeit im Ferrit dessen Gehalt unter den kritischen Wert sinkt. Das Glühen muss unmittelbar nach dem Gießen oder Warmumformen (vor dem Abkühlen auf die Temperatur der Umgebungstemperatur) durchgeführt werden, wenn der vorhandene Wasserstoff keine Moleküle bildet, die nicht diffusionsfähig und damit vom Stahl entfernbar sind. Nach langem Verbleiben auf der Glüh-temperatur ist es ratsam, sehr langsam auf mindestens 500 °C abzukühlen.

Glühen zur Beseitigung von Sprödigkeit nach dem Beizen.

Beim Entfernen von Enthammungen durch Beizen kommt es in Stahlbauteilen zu einer Diffusion von Wasserstoff im Metall und damit zu einer Wasserstoffbrüchigkeit. Da während des Beizens die Wasserstoffpenetration in Stahl begrenzt ist, kann Wasserstoff durch Glühen bei einer Temperatur zwischen 300 °C und 500 °C für 1 - 4 h leicht entfernt werden.

Normalisierung

Es ist eine der am weitesten verbreiteten Methoden der Stahlwärmebehandlung, da es nach dem Gießen, Formen oder logarithmischen Glühen bei hohen Temperaturen ein feinkörniges und gleichmäßiges Gefüge gewährleistet. Das klassische Verfahren wird nur für subeutektoiden Stähle angewendet, wenn bei einer Temperatur von 30 - 50 °C und einer Dauer von 1 - 4 Stunden ein feines, gleichmäßiges austenitisches Gefüge entsteht, das sich nach dem Abkühlen in ein feinkörniges ferritisch-perlitisches Gefüge mit günstigen mechanischen Eigenschaften umwandelt. Ausnahmsweise wird es bei über-eutektoiden Stählen eingesetzt, um eine bessere Umverteilung der sekundären Zementitpartikel zu erreichen, die durch langsames Abkühlen an Korngrenzen in Form von Gittern entfernt wurden. Durch das Erwärmen auf die Temperatur über Ac₁ werden Hartmetallgewebe in Austenit gelöst und durch das schnelle Abkühlen wird ein wiederholtes Entfernen an den Korngrenzen verhindert.

Homogenisierungsglühen.

Es verringert die Nichthomogenität der chemischen Zusammensetzung von dickwandigen Gussteilen, bei denen eine signifikante dendritische Segregation auftrat. Das Langzeitglühen bei Temperaturen von 1 100 bis 1 200 °C (meist etwa 200 °C unter Solidus) bewirkt eine ausreichende Diffusionsgeschwindigkeit von Kohlenstoff und anderen Elementen, um Segregation und unerwünschte Heterogenität zu reduzieren. Der Verbleib bei der Temperatur hängt von der Größe und Dicke des Gussteils ab, was in der Regel zu einer signifikanten Korngröße führt, die eine anschließende Normalglühung erfordert.

Lösungsglühen.

Diese Art des Glühens wird verwendet, um Carbide, Nitride und andere intermetallische Phasen zu lösen, was die Homogenität des Austenits und seine Sättigung mit Legierungselementen erhöht. Es wird am häufigsten bei hochlegierten Austenitstählen verwendet, bei denen durch Glühen bei Temperaturen von 1 050 - 1 150 °C eine reine Austenitstruktur erhalten wird, mit anschließender schneller Abkühlung, die eine wiederholte Beseitigung von Phasen verhindert.

Isothermisches Glühen.

Durch die Kombination von drei Glüharten (Normalisierung, weich, Spannungsreduzierung) in einem Arbeitsgang ist es möglich, ein homogeneres Feinkorngefüge mit verbesserter Bearbeitung zu erreichen. Der Prozess beginnt mit der Normalisierung, danach wird der Stahl durch einen Luftstrom auf eine Temperatur von 700 - 650 °C abgekühlt, bei der in isothermer Verzögerung die Spaltung von metastabilem Austenit in feinkörniges sphäroidisiertes Perlit erfolgt. Der Verbleib bei der Temperatur ergibt sich aus dem Kenntnis des IRA-Diagramms für die jeweilige Stahlklasse. Schließlich wird es durch die Luft gekühlt. Das Verfahren eignet sich für einige Arten von mittellegierten Stählen, die schwer weichglühbar sind.

1.3. Abschrecken

Ziel des Abschreckens ist es, die Härte, Festigkeit und Verschleißfestigkeit von Stahl zu verbessern. Diese Eigenschaften sind typisch für teilweise oder vollständig nicht ausgleichende Strukturen, die durch Abkühlung von Austenit mit überkritischer Geschwindigkeit erreicht werden können. Je nach Phase, in der sich die resultierenden Strukturen befinden, erfolgt eine martensitische oder bainitische Abschreckung.

Ein wichtiger Prozessparameter ist die Abschrecktemperatur, bei der der Stahl vor dem Abkühlen austenitisiert wird. Die richtige Abschrecktemperatur für subeutektoiden Stähle liegt bei etwa 30 - 50 °C über AC3, wo sie die homogene Struktur des Austenits vor der Zersetzung gewährleistet. Bei super-eutektoiden Stählen liegt die ausreichende Temperatur nur etwa 20 °C über AC1, wobei die Ausgangsstruktur aus einer heterogenen Struktur aus Austenit und ungelösten Karbiden besteht, die die Verschleißfestigkeit nach dem Abschrecken erhöhen. Eine unsachgemäße Abschrecktemperatur führt zu einer Erhöhung unerwünschter Phasen im Endgefüge (Ferrit) oder zu einer Verdickung des Korns, was zu Abschreckrissen führen kann.

Abschreckbarkeit ist die Fähigkeit des Stahls, durch Austenitisierung der Temperaturabsenkung einen unausgewogenen Zustand zu erreichen.

Die Abschreckfähigkeit wird durch die maximale Härte nach dem Abschrecken bestimmt; sie ist abhängig vom Kohlenstoffgehalt im Austenit. Die resultierende Härte wird auch durch die Abschrecktemperatur beeinflusst, insbesondere bei supereutektoiden Stählen.

Arten des Abschreckens

- Das einfache Abschrecken ist der einfachste Prozess. Die Temperatur sinkt unter M_s stetig ab, wenn die Umwandlung von Austenit in Martensit beginnt. Es entstehen hohe Eigenspannungen und maximale Verformungen, daher ist dieser Typ nicht zum Abschrecken von Produkten mit komplexer Form geeignet.
- Das diskontinuierliche Abschrecken beginnt mit überkritischer Geschwindigkeit, um die perlitische Umwandlung (z.B. in Wasser) zu unterstützen, und kontinuierlich mit Kühlung in gemäßigter Umgebung (z.B. Öl). Auf diese Weise wird die Differenz zwischen der Temperatur an der Oberfläche und im Inneren des Produkts sowie die thermische Belastung reduziert.
- Das isotherme Abschrecken ist ähnlich wie das thermische Abschrecken, wobei die Verweilzeit in der bainitischen Umwandlung dauert, bis die isotherme Austenitzersetzung abgeschlossen ist. Die thermische und strukturelle Belastung ist minimal, there´s keine Gefahr von Verformungen und Rissen. Das älteste iso-

therme Abschreckverfahren ist die Patentierung zur Herstellung von hochfesten Drähten.

- Das thermische Abschrecken ermöglicht es, die Temperaturen im gesamten Volumen des abgeschreckten Produkts auszugleichen. Es reduziert die Belastung und Verformung durch Aufenthalt über der MS-Temperatur. Die Kühlung im Intervall der martensitischen Umwandlung erfolgt in der Regel in der Luft. Das Verfahren eignet sich für dünnwandige Stahlprodukte mit komplexen Formen, deren bainitischer Bereich nach links verschoben ist. |
- Das Abschrecken von Getreide durch Gefrieren erfordert eine zusätzliche Kühlung in Flüssigstickstoff-Gefrierbädern, die die Stabilisierung von RA (Restaustenit) bei Stählen mit niedrigen MS- und Mf-Temperaturen verhindern soll. Es wird auf die Produkte, die bei Temperaturen unter Null arbeiten, Messwerkzeuge und Lagerstahl angewendet, wo die Formstabilität gefordert ist.
- Das kontinuierliche bainitische Abschrecken wird für Stähle mit bainitischem Bereich auf der linken Seite eingesetzt. Die resultierende Zusammensetzung besteht aus Bainit, Martensit und Restaustenit.

1.4. Anlassen

Das Anlassen ist eine Wärmebehandlungsmethode für Stahl, die in der Regel nach dem Abschrecken erfolgt. Durch das Erwärmen von abgeschrecktem Stahl auf Temperaturen, die AC1 nicht überschreiten, kommt es zur Martensitzersetzung und Umwandlung von Restaustenit. Die Gefügeveränderungen und die daraus resultierenden Änderungen der mechanischen Eigenschaften hängen im Wesentlichen von der Anlasstemperatur ab. Aus technologischer Sicht unterscheiden wir zwischen:

- Das Anlassen bei niedrigen Temperaturen (bis 300 - 350 °C), das die Eigenspannung nach dem Abschrecken verringert, den RA-Gehalt reduziert und die Abmessungen stabilisiert.
- Anlassen bei höheren Temperaturen (über 450 °C), bei dem eine vollständige Zersetzung des Martensits stattfindet, was sich durch eine deutliche Abnahme von Härte und Festigkeit, aber auch durch eine Erhöhung der Plastizität und Zähigkeit zeigt.

2. Technologien zum Schneiden von Blechen

2.1. Blechumformtechnik - Scheren

Das Scheren ist die am häufigsten verwendete Formgebung.

Es wird verwendet für:

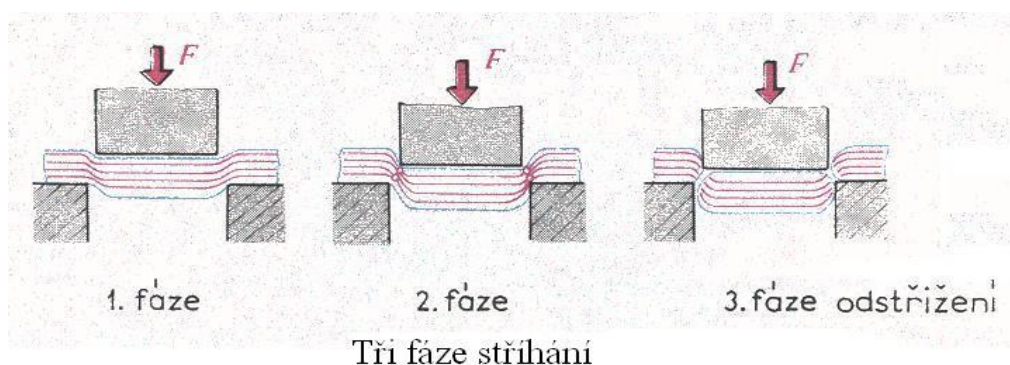
- Vorbereitung von Halbfabrikaten (Scheren von Blechen oder Coils, Profilscheren, Flachformen, etc.)
- Schneiden von Blechbauteilen entweder für den Endverbrauch oder für andere Technologieprodukte (Biegen, Extrudieren, Ziehen, etc.).
- Fertigstellung oder Nebentätigkeiten, einschließlich:
 - Stanzen,
 - Ausblendung,
 - Trimmen,
 - Rollenschneiden, etc.

Anhand der Prozesstemperatur unterscheiden wir zwei Arten der Scherung:

- **Kaltscheren** - für weiche Stähle (maximale Festigkeit 400 MPa) oder für Bleche,
- **Heißscheren** - für härtere und dickere Materialien, Erwärmung auf 700 °C

2.2. Scherprinzip

Das Scheren ist das Trennen eines Teils des Materials durch Einwirkung von gegenüberliegenden Scherkanten, die eine Gleitschubspannung in der Scherebene verursachen. Das Scherprinzip ist im Bild dargestellt. Die Scherung erfolgt in drei Phasen:



Die erste Phase ist eine Phase elastischer Verformungen, wenn das Material kompri-

miert, gebogen und in das Matrizenloch gedrückt wird.

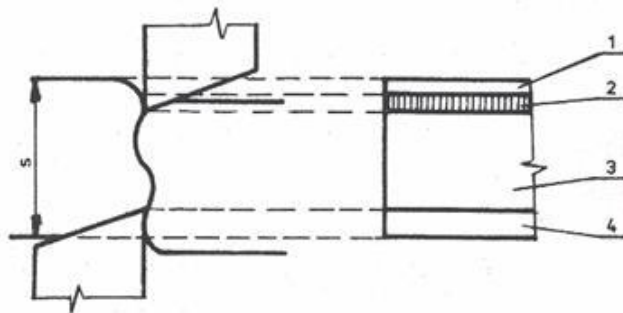
Die zweite Phase ist die Phase der plastischen Verformungen. Der Stempel wird in das Blech gedrückt, dieses wird in das Matrizenloch gedrückt und die Spannung übersteigt die Streckgrenze und nähert sich der Bruchfestigkeit am Rand von Stempel und Matrice.

In der dritten Phase entstehen an den Kanten Risse, die sich ausbreiten, bis das Material gerissen ist.

Die Scherung wird getrennt, bevor der Stempel die Dicke der Materialschere durchläuft, und die Scherung wird anschließend extrudiert. Dadurch sind die Kanten der Scherflächen nicht vollständig plan und die Schere weist eine gewisse Rauheit auf, die im Bereich nicht gleichmäßig verteilt ist.

Die Stellen, an denen die ersten Risse entstanden sind, sind rauer als die anderen Scherflächen. Allerdings wird das Material nicht exakt in der gewünschten Ebene getrennt, da das Material elastisch ist und die Spannung den Druck über die gesamte Fläche verursacht. Auf diese Weise unterscheiden wir zwischen den einzelnen Zonen auf der Scherfläche.

Das Scheren ist somit der einzige Umformvorgang, der zu den gewünschten Materialbrüchen führt. Bei der Berechnung der Umformkräfte wird dies durch die Verwendung von Festigkeitsgrenzen anstelle von Streckgrenze berücksichtigt.



Verformungszonen beim Scheren

1 - Krümmung (elastische Verformung), 2 - Reißzone, 3 - Scherzone (plastische Verformung), 4 - Druckzone

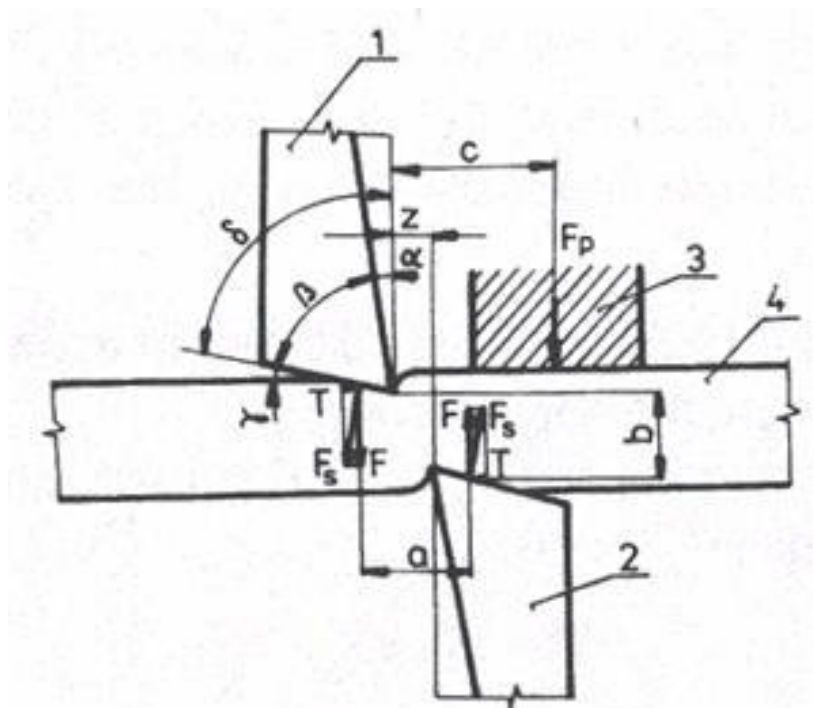
2.3. Berechnung von Kraft und Arbeitsaufwand für parallele Schaufeln

Aufgrund des Spaltes zwischen Stempel und Matrize wirken im eigentlichen Prozess die Scherkräfte nicht optimal in einer Ebene, wo sich die Scherkraft F_s in Reibung (T) und Normal (F) auflöst, was Biegemomente sowie einzelne Zonen im Endprodukt oder Halbzeug verursacht.

Das Moment $M_p = F \cdot a$ bewirkt eine Drehung des Materials, die durch einen Halter verhindert werden kann, während das Krängungsmoment $M_T = T \cdot b$ durch Vergrößerung des Spanwinkels γ reduziert werden kann.

Die Haltekraft kann als $F \cdot a = F_p \cdot c$ berechnet werden, wobei a das 1,5- bis 2-fache der Scherspaltgröße (bezeichnet als z) beträgt.

Die Kraftkomponente T bewegt die Klingen auseinander und sie werden gebogen (Bruchgefahr).



Prinzip und Kraftwirkung beim Scheren mit parallelen Messern

1 - obere bewegliche Klinge, 2 - untere unbewegliche Klinge, 3 - Halter, 4 - Material geschert

Die Größe der Scherkräfte beim Scheren mit parallelen Messern wird wie folgt berechnet:

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_s$$

wobei

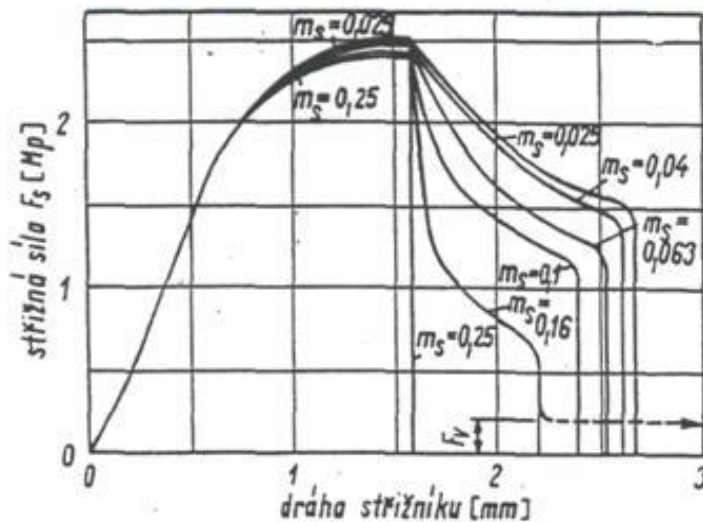
s die Dicke des Blechs [mm],

O Scherumfang [mm],

τ_s Scherspannung, Scherfestigkeit - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa],

S Querschnittsfläche in der Scherebene

- $S = O \cdot s$ [mm²].



Unsere Scherkraft beim Scheren mit parallelen Messern; Beispiel für den Einfluss des Scherspalt auf den Verlauf der Scherkraft F und die Arbeitsgröße A

Da Scherspannung, Scherfestigkeit die Werte sind, die vom Grad des durchschnittlichen Drucks des Messers in das Material abhängen, gilt die Formel nicht für den gesamten Scherprozess, aber die Scherkraft variiert vom Nullwert bis zu einem bestimmten Maximum und zurück zu Null, was hauptsächlich von der Materialdicke und teilweise auch vom Scherspalt abhängt.

Der eigentliche Scherprozess erzeugt keine reine Scherung, sondern eine kombinierte Spannung, die die Messer stumpf macht; daher wird die tatsächliche Scherkraft um 10 - 30 % erhöht. Die Scherung ist gleich der Ebene unterhalb der Kurve und hängt vom Scherspalt ab.

$$A = F_s \cdot k \cdot k \cdot z$$

wobei

k der Koeffizient des Raumes unterhalb der Kurve ist.

z Hub[mm].

2.4. Berechnung von Festigkeit und Arbeitsaufwand für schräge Klingen

Für die Berechnung von Scherkraft und Arbeitsaufwand wird eine analoge Formel bezogen auf einen Dreiecksbereich verwendet:

$$F_s = (1,1 \cdot 1,3) \cdot s \cdot b \cdot \tau_s = (1,1 \cdot 1,3) \cdot s^2 \cdot \tau_s / \operatorname{tg} \varphi$$

wobei

s Blechdicke[mm],

b Scherlänge - $b = a / \operatorname{tg} j$ [mm],

φ Scherwinkel, Messerfasenwinkel (2 - 6° bei Tafelscheren, 7 - 20° bei Hebelscheren)

τ_s Schubspannung - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa].

$$A = F_s \cdot k \cdot z = F_s \cdot k \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

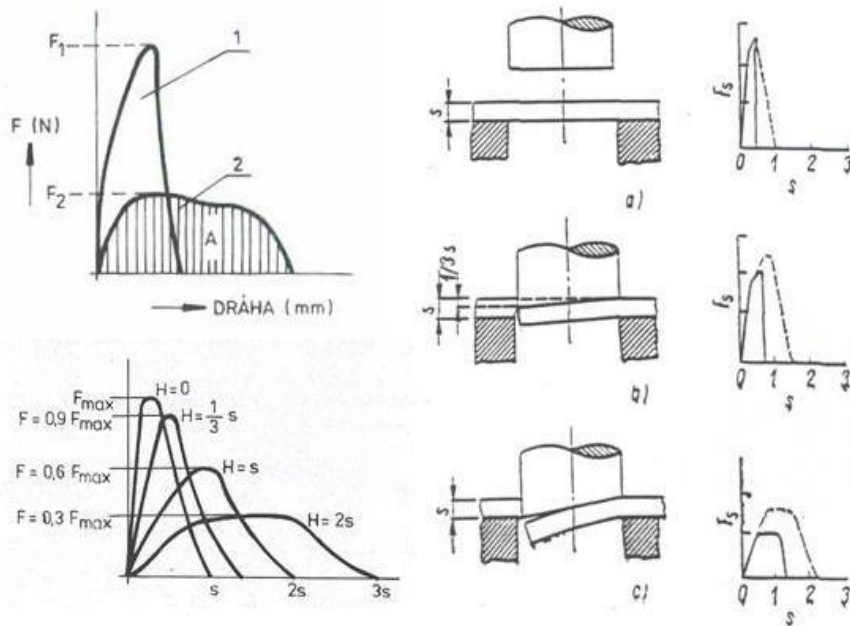
Wobei

k der Koeffizient des Raumes unterhalb der Kurve ist.

z Hub[m].

Die berechnete Kraft bleibt konstant, wenn der Schaufelhub die volle Materialstärke erreicht. Die Größe der Scherkraft nimmt ab, wenn die Messer den Hub bis zum Erreichen von Null beenden. Die erforderliche Arbeitsgröße wird berechnet und entspricht der Fläche unterhalb der Kurve.

Beim Vergleich der Größenordnung von Scherkraft und Arbeitsaufwand für das Scheren mit Parallel- und Schrägmessern ist es offensichtlich, dass das Scheren mit Schrägmessern vorteilhafter ist, da bei gleicher Blechdicke und Scherlänge viel weniger Kraft erforderlich ist als bei parallelen Messern; die Länge der Schere ist jedoch viel größer. Durch die Verringerung der Scherkraft werden die Messerhübe deutlich reduziert.



Vergleich der Scherkraft und der Arbeitskraft bei Verwendung von Parallel- und Schrägmessern (oben links) und Einfluss des Fasenwinkels auf den Kraft- und Arbeitskräfteverlauf (unten links) mit dem Verlauf der Fase 0, $\frac{1}{3} H$ a $H = s$ (rechts - durchgezogene Linie ist für normale Scherung, schraffierte Linie für präzises Schneiden).

2.5. Klassifizierung der Scherung

Bei der Konstruktion der Messer unterscheiden wir zwischen verschiedenen Arten der Scherung:

- Scheren mit parallelen Messern,
- Scheren mit schrägen Messern
- Scheren mit Scheibenmessern,
- Messer zum Schneiden von Profilen und Stangen.

Scheren mit parallelen Messern

Das zum Scheren mit parallelen Messern verwendete Werkzeug besteht aus einer Quetschung und einer Matrize, zwischen denen ein Spiel- oder Scherspalt m_s ($\frac{1}{2}$ des Scherspalt) beträgt, da es aufgrund der Unfallgefahr nicht möglich ist, ein Werkzeug ohne Spalt zu konstruieren. Um einen Qualitätsspan zu erreichen, ist ein optimaler Abstand zwischen einem Stempel und einer Matrize erforderlich. Der einseitige Abstand liegt in der Regel zwischen 3 und 10 % der Blechdicke in Abhängigkeit von der Dicke und Festigkeit des Materials (der Abstand nimmt mit der Festigkeit zu).

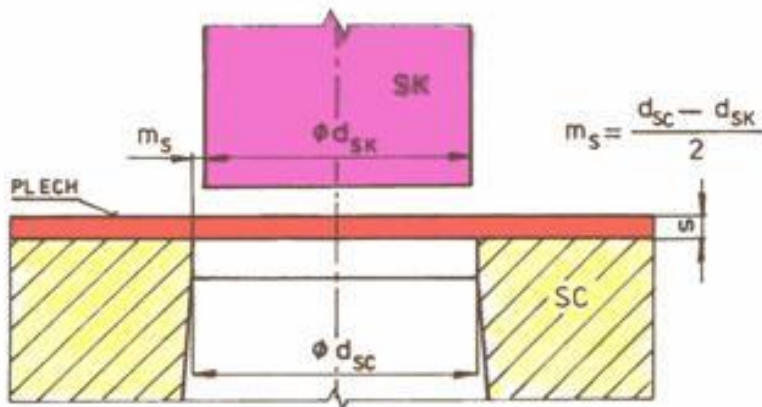
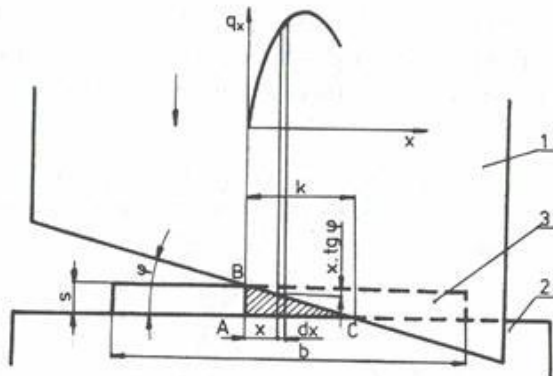


Diagramm der Scherung mit dem Scherwerkzeug (SK - Stempel, SC - Matrize)
Scheren mit schrägen Messern

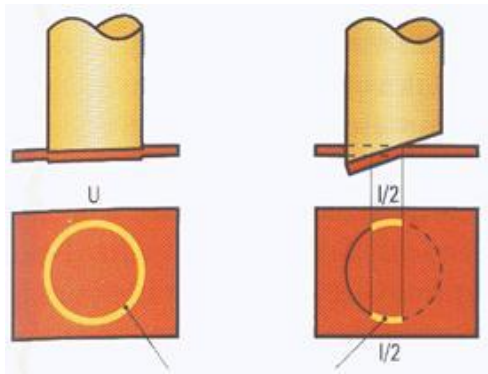
Das Scheren mit schrägen Messern, die einen bestimmten Winkel einhalten, ist geeignet, da es die insgesamt erforderliche Scherkraft im Vergleich zum Scheren mit parallelen Messern reduziert.

Das Material wird allmählich geschert. Für die Größe der Querkraft ist der wichtigste Faktor die Größe der Scherkante und die Dicke - Dreiecksfläche.

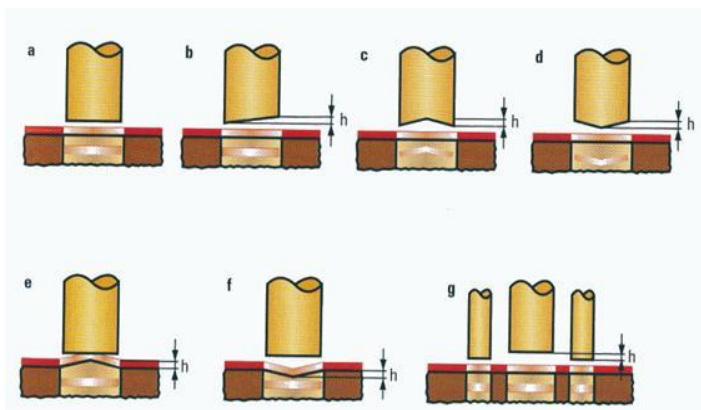


Scheren mit schrägen Messern
(1 - obere bewegliche Klinge, 2 - untere unbewegliche Klinge, 3 - geschertes Material)

Wie bei einer einfachen geraden Scherung kann der Verlauf der unmittelbaren Kraft kontrolliert werden, auch wenn die gesamte auf das Scheren ausgeübte Arbeit nicht abnimmt. Bei Instrumenten können Scherwerkzeuge aus Matrize und Scherstift für zwei der am häufigsten verwendeten Scherverfahren, nämlich Stanzen und Stanzen, auf zwei Arten eingesetzt werden:



Vergleich der Scherlänge beim Scheren mit parallelen oder schrägen Messern

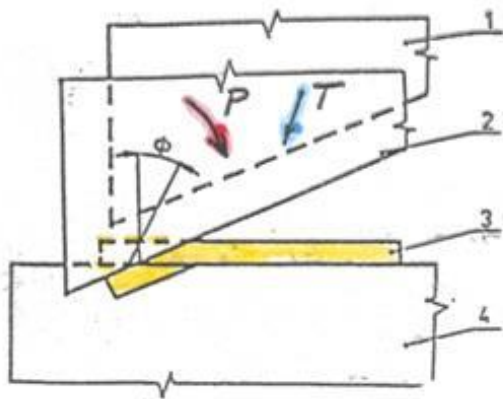


Scherstift- und Matrizenmodifikationen (a - gerade Scherung, b - einseitige Scherstiftfase, c, d - beidseitige Scherstiftfase, e, f - Matrizenfase, f - abgestufte Anordnung des Scherstiftes)

Scherenmesser mit abgeschrägten Kanten werden eingesetzt, wenn wir die Scherkraft reduzieren wollen, die größer ist als die Presskraft. Beim Stanzen ist die Fase beidseitig auf der Matrize - das Produkt ist gerade, während der Abfall gebogen wird. Die beidseitige Fase gleicht die Kräfte auf den Scherstift aus und weicht nicht von der Achse ab. Die einseitige Fase wird nur zum Ausklinken verwendet. Beim Stanzen ist die Matrize gerade und der Scherstift ist abgeschrägt, das Produkt ist gerade und der Abfall ist gebogen. Beim Scheren komplexer Formen wird eine Kantenfase nicht empfohlen.

Die Schrägschere beinhaltet Hebelscheren, deren Messer durch Winkelneigung bewegt werden. Da sich der Winkel λ beim Kippen der Messer ändert, werden Hebelscheren in der Regel mit einem oder beiden schrägen Messern ausgeführt, so dass der Winkel λ entlang der Scherlinie konstant bleibt.

Eine spezielle Methode zum Scheren mit schrägen Messern ist ein TAHANÝ STŘIH, wenn der Scherwinkel (DRAW TAŽENÍ) φ 2 - 10° beträgt. Dieses Scherverfahren wird zum Scheren von Faserstoffen eingesetzt, wobei die Scherkraft bei dem Winkel $\varphi = 70^\circ$ um bis zu 20 % reduziert wird.



(1 - Ausgangsposition des beweglichen Messers, 2 - Position des beweglichen Messers im Scherenbetrieb, 3 - untere unbewegliche Klinge, 4 - geschertes Material)

Scheren mit Scheibenmessern

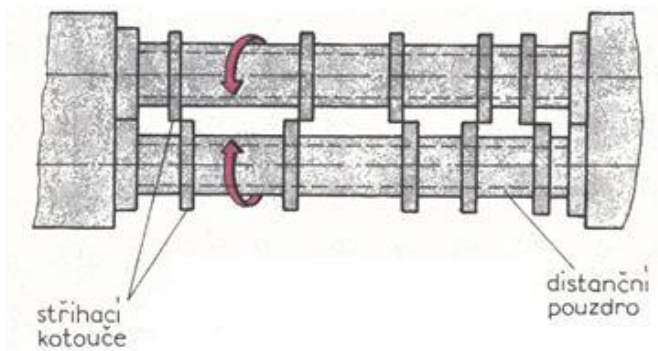
Für das Längsschneiden von langen Bändern werden Scheibenschere verwendet. Es ist ein Scherwerkzeug mit Rollmessern.

Der Einsatz von Scheibenmessern verlängert die Scherzeit, reduziert aber gleichzeitig die Hübe. Der Winkel der Kante ändert sich von den höchsten Werten am Punkt des Hubs auf Null.

Die Kombination aus zweikegeliger und zylindrischer Klinge wird zum Schneiden von gekrümmten Formen verwendet, wobei der Vorteil der geschwenkten Werkzeugachsen genutzt wird.

Beim Kurvenscheren muss der Messerdurchmesser so klein wie möglich sein. Dies ermöglicht die Konstruktion von Scheren mit langen Scheibenträgern und damit die Handhabung von geschertem Material.

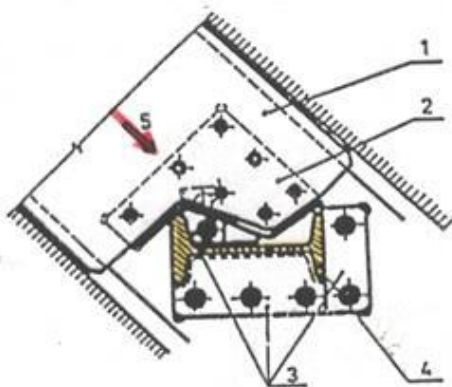
Eine besondere Art von Schergeräten sind oszillierende Scheren. Sie werden zum Fräsen und Herstellen von Nuten und Löchern verwendet. Die maximale Materialstärke beträgt ca. 10 mm.



*Kreisschere - Streifenschere - Streifenschere
Legende: střižací kotouče - Schermesser, distanční pouzdro - Koffer*

Scheren von Profilen, Stangen und Rohren

Was oft geschert wird, ist Profilmaterial, rund, rund, rund, Profile, etc. Während der Querschnitt der Funktionsteile der Werkzeuge in etwa gleich bleibt, ändert sich die Längsform je nach Scherzweck.

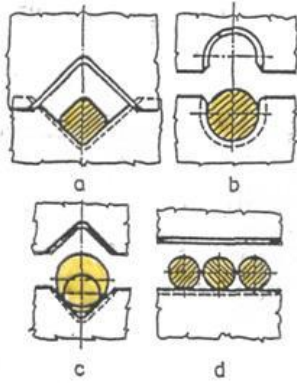


*Profilschermesser
(1 - Stempel, 2 - bewegliches Blatt, 3 - unbewegliches Blatt, 4 - geschertes Profil, 5 - Bewegungsrichtung des Blattes)*

Beim Scheren von Profilmaterial gilt das Prinzip, dass die Dicke immer nahezu gleich sein muss. Die Form der beweglichen Schaufel passt sich diesem Prinzip an. Die Abbildung zeigt die Messerform zum Scheren von Profilen und die Messerform zum Scheren von Vierkantprofilen sowie zum Scheren von Kreisformen. Bei einer Schrägbewegung des beweglichen Teils des Werkzeugs wird in Abhängigkeit vom Hub ein gleichmäßiger Scherkraftverlauf erreicht, als wenn die Bewegung des Messers von einem Teil der Querschnittsachse abhängt.

Beim Scheren von Rohren mit möglichst geringer Verformung hat der bewegliche Teil

des Werkzeugs die Form eines Spitzbogens. Das spitze Teil durchbohrt zunächst das Rohr; die Seiten schneiden dann das Rohr so ab, dass die resultierende Kraft auf die Kante senkrecht zur Richtung der höchsten Zähigkeit steht. Der Scherspalt ist auf der gesamten Länge nicht gleich, er nimmt von den Seiten zur Mitte hin zu.

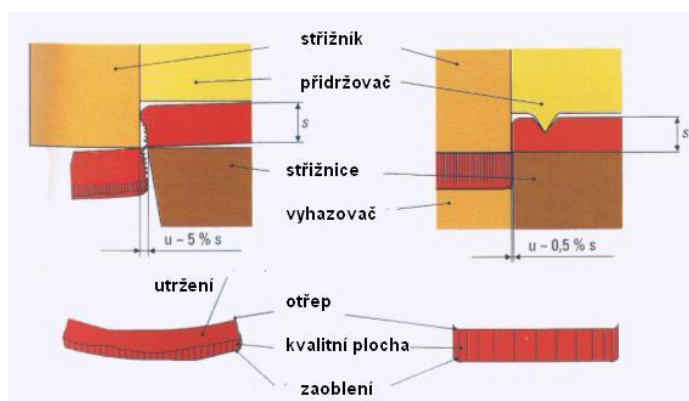


Messer zum Schneiden von quadratischem und rundem Material (a - quadratischer Querschnitt, b - kreisförmiger Querschnitt, c - Querschnitt mit unterschiedlichem Durchmesser, d - kreisförmiger Querschnitt mit zulässiger Profilverformung)

3. Feinschneiden und spezielle Scherverfahren

3.1. Feinschneiden

Mit den oben beschriebenen Scherverfahren weisen die Scherfläche und das Scherprodukt eine gewisse Standardqualität auf. Dies bezieht sich auf die Rauheit der gescherten Fläche und die Genauigkeit der Abmessungen. Die folgende Abbildung zeigt die Scherqualität für Normal- und Feinschneiden.



Legende: střížník - Scherstift, přídržovač - Halter, střížnice - Matrize, vyhazovač - Auswerfer, utržení - Riss, otrěp - Grat, kvalitní plocha - Qualitätsoberfläche, zaoblění - Krümmung

Um die gescherten Teile ohne weitere Modifikationen direkt für die Montage verwenden zu können, strebten die Technologen nach einer Verbesserung des Scherverfahrens. Alle Verfahren zur Verbesserung der Qualität der Scherfläche und der Abmessungen des gescherten Bauteils werden gemeinsam als Feinschneiden bezeichnet.

Für die Endproduktqualität ist der Abstand (Spalt) zwischen Scherstift und Matrize sehr wichtig, da durch die Vergrößerung des Spaltes die durch Biegespannung verursachten Zugkomponenten eliminiert werden und die Spannung nahe der reinen Schubspannung liegt.

Grundsätzlich lassen sich Präzisionsschermethoden in die Herstellung der Produkte unterteilen:

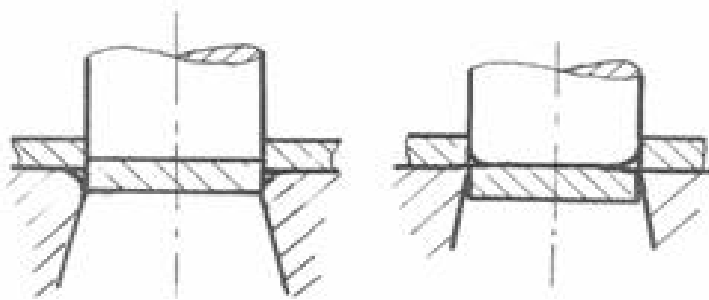
- **In einem Arbeitsgang** - spielfreies Scheren, Scheren mit Halter, Scheren mit Druckkante, Scheren mit Druckkante und Gegendruck, Umkehrscheren, Scheren mit Unterspiel, Scheren mit ESSA-Pressen,

- In zwei Arbeitsgängen - Trimmen, vibrierender Scherstift.

Spielfreies Scheren

Die spielfreie Scherung ist in der Abbildung dargestellt. Ein Funktionsteil des Werkzeugs (entweder Scherstift oder Matrize) ist ohne Kante, mit abgerundeter Scherkante ausgeführt.

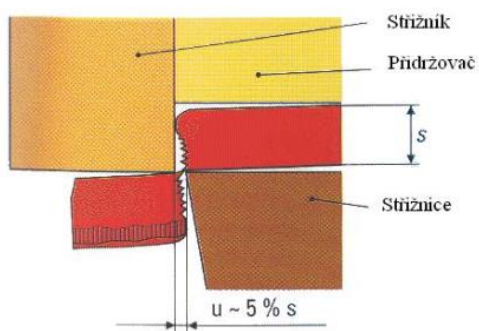
Der zweite Teil wird geschärft. Die linksseitige Anordnung verbessert die Qualität des Lochs, die rechtsseitige Anordnung verbessert die Qualität der Produktoberfläche.



Spielfreies Scheren

Scheren mit Halterung

Die Verwendung eines Halters verhindert das Verbiegen der Produktkanten und verbessert die Qualität der Oberfläche. Die Zugspannung wirkt zusammen mit der Druckspannung und verbessert so die Spannung am Scherpunkt.

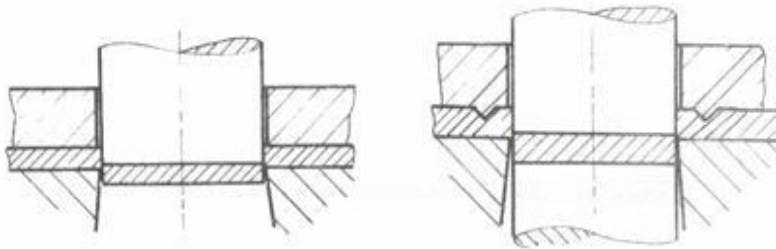


Použití přidržovače

Legende: střížník - Scherstift, přidržovač - Halterung, střížnice - Matrize, použití přidržovače - mit Halterung

Scheren mit Druckkante

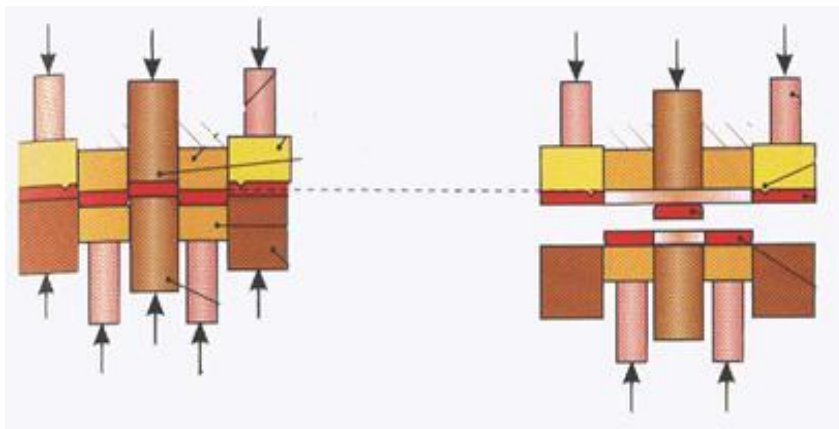
Die bisher besten Ergebnisse beim Feinschneiden wurden durch den Einsatz von Scheren mit Druckkante erzielt. Die Druckkante wird im Bereich des Scherumfangs gedrückt und verändert dort die Spannung im Scherbereich in eine dreiachsige. Die Druckkante bewirkt auch eine Kompression, die ein Annähern an die saubere Scherung erleichtert. Die Gegenpresse wird durch einen elastischen Unterstempel gewährleistet. Diese Anordnung ermöglicht das Schneiden auch von relativ dicken Materialien. Für dickere Materialien (Dicke mehr als 5 mm) können entweder zwei Umfänge verwendet werden oder einer am Scherstift und einer am Werkzeug.



Scheren mit Halter (links) und Scheren mit Druckkante und Gegendruck (rechts)

Gegenscheren

Das Gegenscheren besteht darin, das Halbzeug zu greifen, damit die Spannung nicht wirkt.



Gegenscheren

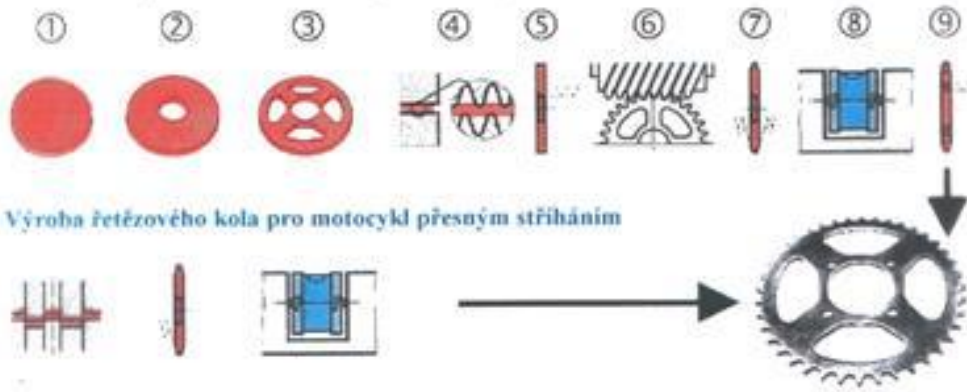
Scheren mit negativem Spiel und Verwendung der ESSA-Press

Das Scheren mit negativem Spiel ist ein Prozess, bei dem der Scherstift nicht in das Matrizenloch eindringt. Der Scherstiftdurchmesser beträgt etwa 0,1 - 0,2 % der Blechdicke größer als der Matrizendurchmesser. Der Scherstift muss 0,2 - 0,5 mm über der Matri-

zenebene liegen, was zu einer Kompression im Material und damit zu einer höheren Scherkraft führt.

Das Scheren mit der ESSA-Pressen ist das Verfahren, wenn Scherstifte gleichzeitig scheren und oszillieren und so die Scherfläche polieren.

Konvenční výroba řetězového kola pro motocykl



1. vystřihování
2. děrování
3. děrování odlehčujících otvorů
4. vyrovnávání povrchu
5. soustružení vnitřní díry a oboustranné zkosení hran
6. frézování zubů (odvalování)
7. úprava zubů
8. vrtání otvorů
9. úprava otvorů, odstranění otřepů

Legende: konvenční výroba řetězového kola pro motocykl - konventionelle Herstellung von Motorradritzel, výroba řetězového kola pro motocykl přesným stříháním - Herstellung von Motorradritzeln mittels Feinschneiden, 1 - Scheren, 2 - Stanzen, 3 - Herstellen von Entlastungslöchern, 4 - Oberflächenbehandlung, 5 - Herstellen von Innenloch, beidseitige Kantenfase, 6 - Zahnfräsen, 7 - Modifikation von Zahnräsen, 8 - Bohren von Löchern, 9 - Modifikation von Löchern, Entfernen von Graten

3.2. Scherenpläne

Beim Scheren ist es sehr wichtig, die Teile so auf das Blech zu legen, dass möglichst wenig Abfall entsteht. Die Platzierung auf den Teilen auf dem Blech wird dann als Scherplan bezeichnet. Abfall (sowohl technologisch als auch bautechnisch) ist ein untrennbarer Bestandteil der Schertechnologie, die einer der Massenproduktionsprozesse ist; daher muss der Platzierung der Teile große Aufmerksamkeit geschenkt werden, da das

Material etwa 60 - 70 % der Gesamtkosten ausmacht. Die Wahl des Scherplans hängt von der Form und Struktur des Produktes, der Einhaltung der Konstruktionsprinzipien, den Mindestabständen zwischen den Produkten und dem Abstand vom Blechrand ab.

Scherpläne können entweder ein Stückplan sein, wenn die am besten geeignete Schermethode gewählt wird, oder ein groß angelegter Scherplan, wenn verschiedene Formen und Komponenten eines Produkts geschert werden sollen.

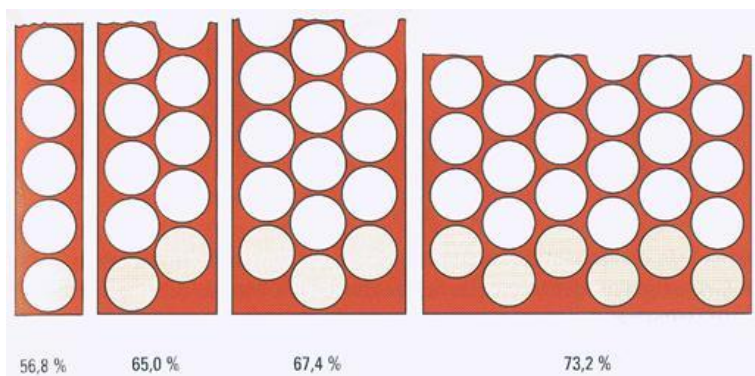
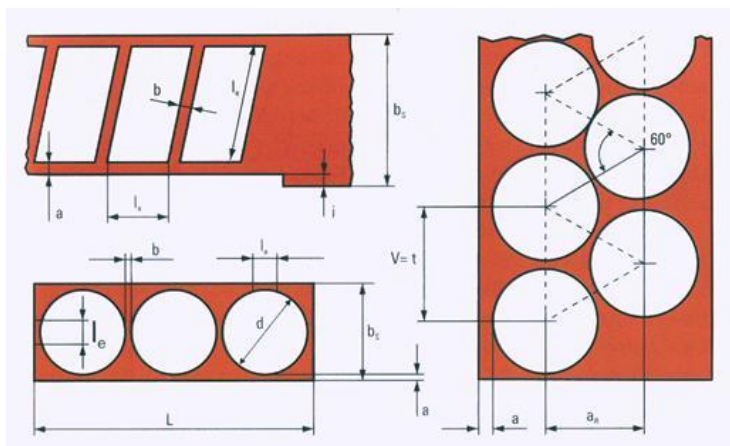
Die Schereffizienz ist gekennzeichnet durch den Koeffizienten des Materialeinsatzes, ausgedrückt als:

$$\eta = S_o / S_p \cdot S_p$$

wobei

S_o.... die Gesamtfläche der Produkte[mm²],

S_p Bereich des Blechbandes[mm²].



3.3. Scherwerkzeuge

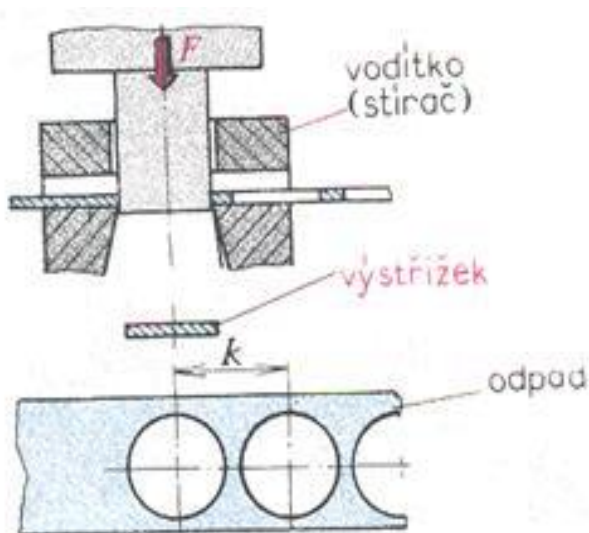
Scherwerkzeuge sind die Werkzeuge, bei denen die Funktion des oberen beweglichen Messers durch einen Scherstift und die Funktion des unteren unbeweglichen Messers durch die Matrize ausgeführt wird.

Klassifizierung:

- Nach Anzahl der Operationen
- Einzelbetrieb,
- progressiv,
- kombiniert,
- Verbindung,
- Verbindung progressiv,
- nach Betriebsart
- Scheren,
- Biegen,
- Ziehen, etc.
- nach Anzahl der Produkte
- Einzelprodukt
- mehrfach.

Einoperationsscherenwerkzeuge

Der erste Typ ist ein einstufiges Scherwerkzeug. Die Position des Bandes wird durch einen Anschlag sichergestellt, die Bewegung erfolgt in einem Schritt (Größe des Produktes plus Zugabe).



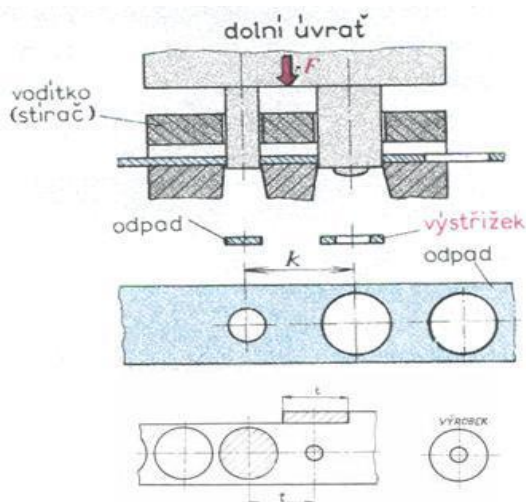
Einoperationsscherenwerkzeug

Legende: vodítko, stírač - Stripper, výstřížek - Produkt, Odpad - Abfall

Progressive Scherwerkzeuge

Progressives Scherwerkzeug macht das Produkt schrittweise, mit mehreren Schritten und mehreren Arbeitsgängen. Ein Lastanschlag wird verwendet, wenn ein neuer Riemen eingesetzt wird. Die Position des Bandes wird durch einen festen Endanschlag sichergestellt.

Die Funktion des Werkzeugs ist in der Abbildung zu sehen. Es gibt 3 schraffierte Bereiche, die in einem Zug geschoren werden. Der rechteckige Bereich wird durch einen seitlichen Scherstift abgeschnitten, der eine sogenannte Stufe gewährleistet, d.h. die Bewegung des Riemens um den Abstand t . Kreisförmige Flächen mit unterschiedlichen Durchmessern stellen unterschiedliche Produkte dar. Die Bewegung des Riemens erfolgt von rechts nach links. Das rechte (kleine) runde Produkt geht in den Abfall, auf der linken Seite sind die fertigen Produkte (Waschanlagen) zu sehen.



Progressives Scherwerkzeug

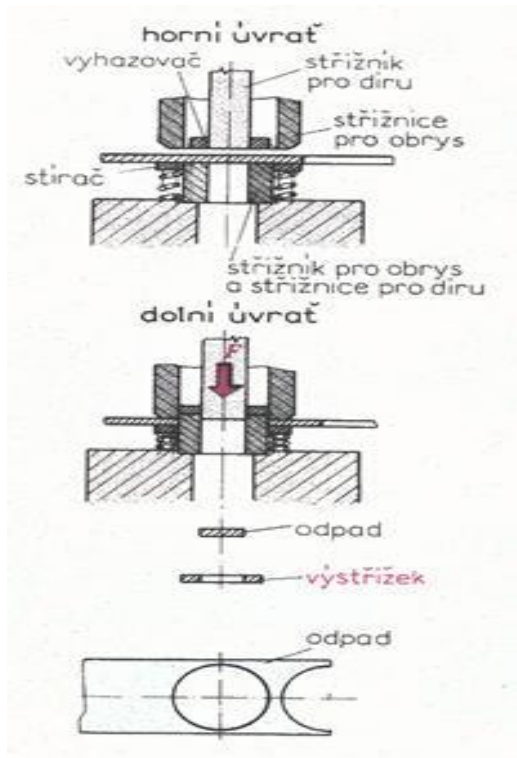
Legende: dolní úvrat - niedrigerer Totpunkt

Kombinierte und zusammengesetzte Scherwerkzeuge

Ein kombiniertes Scherwerkzeug ist für mehrere Arbeitsgänge pro Schritt ausgelegt. Auf diese Weise wird z.B. Stanzen und Stanzen während des Scherens durchgeführt.

Im Gegensatz dazu ist ein Verbund-Scherwerkzeug so konzipiert, dass es verschiedene Aufgaben in einem Schritt (z.B. Scheren, Biegen, Ziehen, etc.) oder in mehreren Schritten kombiniert. Dies wird als Verbund-Folgewerkzeug bezeichnet. Die einzelnen Arbeitsgän-

ge werden durch die Konstruktion des Scherstiftes oder des Werkzeugs als solches sichergestellt.



Kombiniertes Scherwerkzeug

Legende: horní úvrať - oberer Totpunkt, vyhazovač - Auswerfer, střížník pro díru - Scherstift zur Herstellung von Löchern, střížnice pro obrys - Matrize zur Herstellung von Konturen, střížník pro obrys - Scherstift zur Herstellung von Konturen, střížnice pro díru - Matrize zur Herstellung von Löchern, dolní úvrať - unterer Totpunkt

3.4. Spezielle Scherverfahren

Scheren mit Hilfe von Gummi

Das Scheren mit Hilfe von Gummi wird zum Scheren des Produkts aus dünnem Weißblech verwendet. Das Scherwerkzeug besteht hier aus einer Stahlplatte, deren Dicke 6 - 10 mm beträgt, mit der gleichen Kontur wie die Produktkontur, und Gummi, entweder in einem Rahmen fixiert oder lose auf einem Halbzeug platziert.

Mit diesem Werkzeug kann das Beschnitt, Stanzen oder eine Kombination aus Beschnitt und Stanzen durchgeführt werden. Die Dicke der Gummipolsterplatte beträgt ca. 150 mm und besteht aus mehreren Komponenten.

Der Stahlrahmen ist sehr beansprucht, ebenso wie die Stahlschneidplatte, die eine glatte Oberfläche aufweisen muss, damit sie keine Spuren auf dem Endprodukt hinterlässt.

Der Vorteil ist die Einfachheit und der niedrige Preis des Werkzeugs, die Möglichkeit, verschiedene Teile gleichzeitig zu scheren, oder eine mögliche Kombination mit dem

Ziehen. Nachteile sind das Abfallvolumen, die Beschränkung der Dicke und die geringe Haltbarkeit des Gummis.

Scheren mit erhöhter Geschwindigkeit

Das Scheren mit erhöhter Geschwindigkeit basiert auf der Minimierung des Volumens bei verminderter Plastizität. Die Risse liegen sehr dicht beieinander, was zu senkrechten und planaren Scherflächen führt.

Dies ist nur bei kritischen Drehzahlen möglich, wobei die Werte für Kohlenstoffstahl zwischen 3 - 5 m. s⁻¹ liegen.

4. Massen-Umformungen-Technologien- Extrusion

4.1. Massen-Umformung-Technologien - Extrusion

Die Extrusion ist eine Technologie, die bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt werden kann - es gibt die Heißextrusion, die Warmextrusion und die Kaltextrusion. Die Spannung im verformten Teil des Materials ist dreiaxial, unter Druck von allen Seiten. Das zu formende Material wird in die durch die Konstruktion der Formmaschine - Extruder bestimmte Richtung bewegt. Das Produkt wird dann als Extrudat bezeichnet.

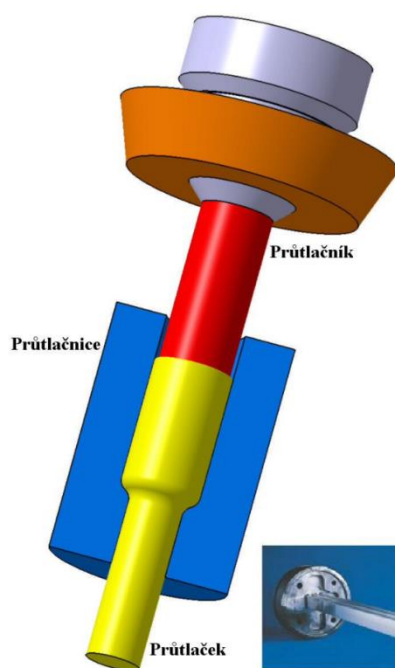
Es gibt zwei Arten dieser Technologie. Der erste Typ beschtigt sich mit der Herstellung von Endprodukten, der zweite Typ mit Halbfabrikaten (Rohre, Stangen, Profile, etc.). Seit mehr als 100 Jahren wird Kaltfliepressen zur Verformung von Leicht- und Nichteisenmetallen eingesetzt. Diese Technologie wurde z.B. zur Herstellung von Tuben, Kartuschen, etc. eingesetzt.

Heißextrusion

Diese Technologie wird für Stangen und Rohre mit kompliziertem Querschnitt eingesetzt, die nicht durch Walzen hergestellt werden können.

Kaltfliepressen

Mit dieser Technologie werden dünnwandige Körper hergestellt: Kartuschen, Tuben, Spraydosen.

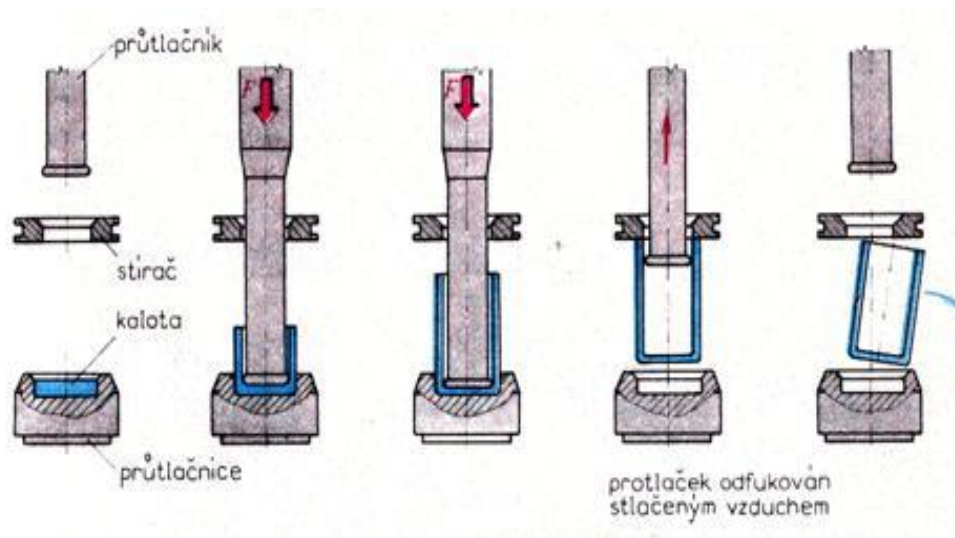


Legende: prtlank - Schieber, prtlaek - Extrudat, prtlance - Matrize, protlačovc nstroj - Extruder



4.2. Extrusionsprinzip und Einfluss des Materials

Das Extrusionsprinzip besteht in der Materialverformung durch die Kräfte, die in einer vorgegebenen Richtung wirken und zur Herstellung eines Endprodukts mit gewünschten mechanischen Eigenschaften und Abmessungen führen. Die Extrusion ist eines der Verfahren, das am meisten zur deutlichen Senkung der Produktionskosten und damit zur Rationalisierung der Produktion beigetragen hat. Die Präzision von Extrudaten ist in der Regel sehr hoch ($\pm 0,05$ mm), so dass es nicht notwendig ist, sie vor der Montage zu dimensionieren. Auch der Materialeinsatz ist sehr hoch (90 - 100 %).

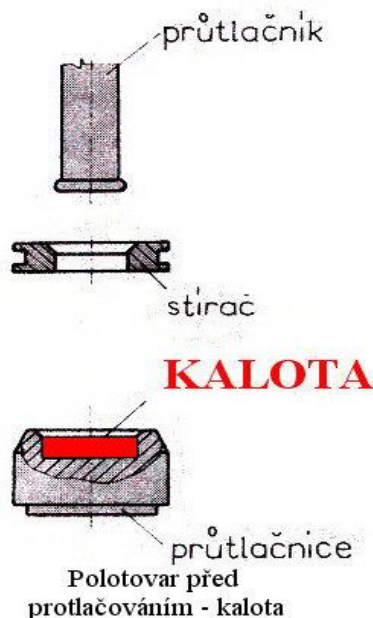


Legende: průtlačník - Pusher, stírač - Stripper, Kalota - Kalotte, průtlačnice - Die, protlaček odfukován stlačeným vzduchem - Extrudat durch Druckluft abblasen

- Die Qualität und der Ausgangszustand des Materials beeinflussen die Extrusionstechnik und den Prozess maßgeblich.
- Aufgrund der Widerstandsgröße sind für die Extrusion Materialien mit mehr als 10% Duktilität und 50% Kontraktion (Stähle mit einem C-Gehalt bis zu 0,2 %) geeignet.
- Ungeeignete Werkstoffe sind solche, die einen Umformdruck von mehr als 2500

MPa erfordern oder wenn es aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung nicht möglich ist, während eines Arbeitsgangs mindestens 25% Verformung vorzunehmen.

- Materialien mit geringer Umformfestigkeit (Aluminium und seine Legierungen) können in einem Arbeitsgang extrudiert werden.
- Stähle und andere Metalle werden in mehr als einem Arbeitsgang extrudiert. In einigen Fällen ist ein Zwischenglühen erforderlich (zuerst Rekristallisation und dann Weichglühen).
- Die maximale Reduzierung pro Strang wird durch die zulässige Spannung der Vorrichtung begrenzt. Die Reduzierung z.B. für Stahl mit einem C-Gehalt von 0,1% beträgt bis zu 60 %.
- Vor der Extrusion muss das Material durch Richten und Teilen in Kalotten, einschließlich Wärmebehandlung, modifiziert werden, gefolgt von einer Oberflächenbehandlung.



Legende: polotovar před protlačováním (kalota) - Halbzeug vor der Extrusion (Kalotte)

4.3. Arbeits- und Folienkalkulationen

Für die Kaltextrusion sind hohe Verformungskräfte erforderlich, abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Materials, der Vorbereitung und Wärmebehandlung, der Schmierung, der Werkzeuggeometrie (je größer, desto höher die Kraft), der Größe der Reduktion (je größer, desto höher die Kraft), der Wanddicke (je dünner, desto höher die Kraft), dem Maschinentyp. Die notwendigen Kräfte und Arbeitskräfte sind schwer zu berechnen und werden hier nicht erwähnt. Der Kaltextrusionswiderstand wächst mit dem Grad der Materialverstärkung, und die Berechnung sieht wie folgt aus:

$$k_{\text{ostř}} = (k_{o1} + k_{o2}) / 2,$$

Es ist das Gleiche, auch wenn es keine Linie, sondern eine Kurve ist. Beim Warmfließpressen ist der Widerstand konstant.

4.4. Einfluss der Reibung

Einer der entscheidenden Faktoren im Extrusionsprozess ist die Reibung, die den Prozess, die Qualität des Produkts und die Wirtschaftlichkeit der Produktion, insbesondere bei Stählen, maßgeblich beeinflusst - eine entsprechende Oberflächenbehandlung ist erforderlich, da sonst Trockenreibung entsteht und das Werkzeug brennt. Die Oberflächenbehandlung besteht aus:

- Beseitigung von Oberflächenfehlern (Strahlen, Schleifen, Beizen bei Al, ...),
- Chemische und mechanische Reinigung (Waschen, Trocknen,...),
- Phosphatierung (Phosphatoberfläche hat eine hohe Haftung zum Ausgangsmaterial, das meist eine Scheibe oder eine Scheibe mit einem Loch, der sogenannten Kalotte, ist. Dadurch kann die Materialoberfläche aufgrund der Porosität der Phosphatschicht bei hohem Druck, die erstmals in den 1930er Jahren eingesetzt wurde, geschmiert werden,)
- Auftragen einer Gleitmittelschicht (z.B. durch Lösen von organischem Öl und Seife).

Die Größe der Reibungskräfte hängt auch von der Rauheit der Druck- und Matrizenoberfläche und deren Verschleiß an kritischen Stellen ab. In einigen Fällen wird Glas mit einer geeigneten chemischen Zusammensetzung als Schmiermittel für die Heißextrusion verwendet. Beim Extrudieren schmilzt das Glas (und es ist notwendig, die glasartige Folie zu entfernen). Bei Nichteisenmetallen wird ein sogenanntes Chemise verwendet / Spalt zwischen Schieber und Matrize, ca. 2 - 4 mm, wobei das Material austritt und als Schmiermittel wirkt.

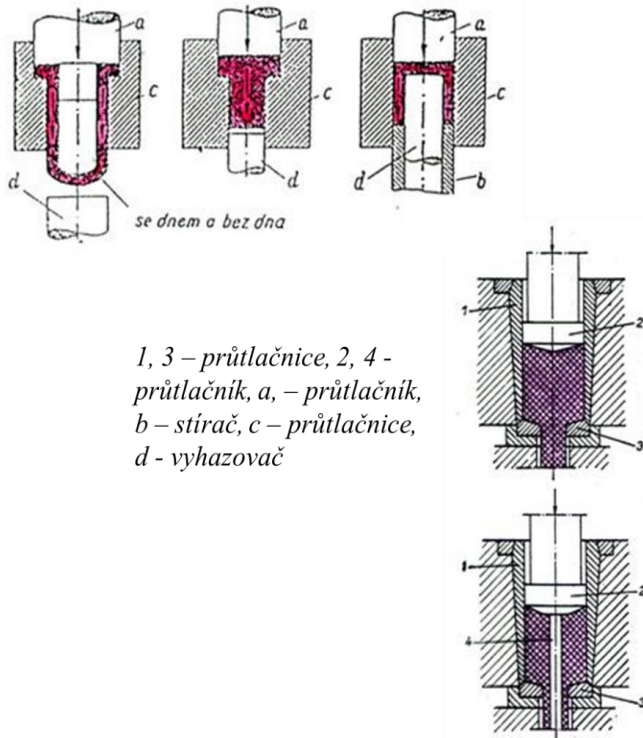
4.5. Klassifizierung der technologischen Verfahren der Extrusion

Die Extrusion wird durch die Bewegungsrichtung und das Werkzeug in mehrere Typen unterteilt:

- Vorwärts (direkt),
- rückwärts,
- kombiniert,
- Seitenextrusion,
- radial.

Direktextrusion

Beim Vorwärts-(Direkt-)Extrudieren bewegt sich das Material in die gleiche Richtung wie der Schieber. Das Ausgangshalbfabrikat ist eine Kalotte, die durch z.B. Blechpressen oder Stangentrennen gewonnen wird. Es wird zum Formen von Bolzen, Bolzen, Buchsen usw. verwendet, d.h. von Produkten mit nicht konstantem Querschnitt.

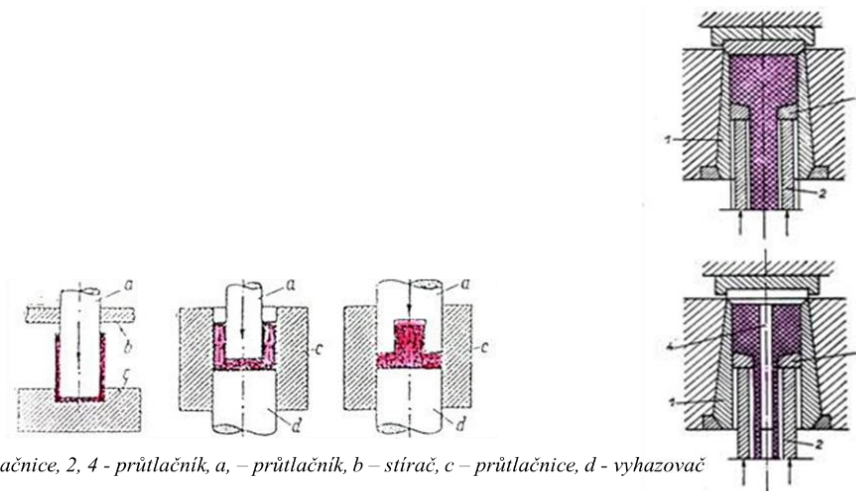


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 –
průtlačník, a, – průtlačník,
b – stírač, c – průtlačnice,
d - vyhazovač

Legende: 1,3 - Matrize, 2,4 - Drücker, b - Stripper, d - Auswerfer, se dnem a bez dna - mit und ohne Boden

Rückwärtsextrusion

Bei der Rückwärtsextrusion bewegt sich das Material in die entgegengesetzte Richtung. Es wird zur Herstellung von Hohlextrudaten mit Rippen verwendet, bei denen die Wanddicke im Vergleich zu einem Durchschnittswert sehr klein oder sehr hoch ist.

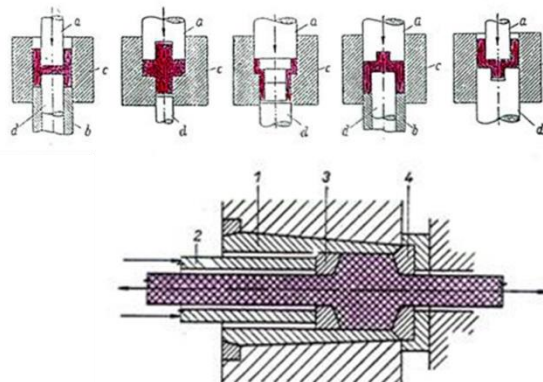


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

Kombinierte Extrusion

Es wird zur Herstellung von Profilen verwendet, die stark beansprucht werden und keine zylindrische Form haben müssen.

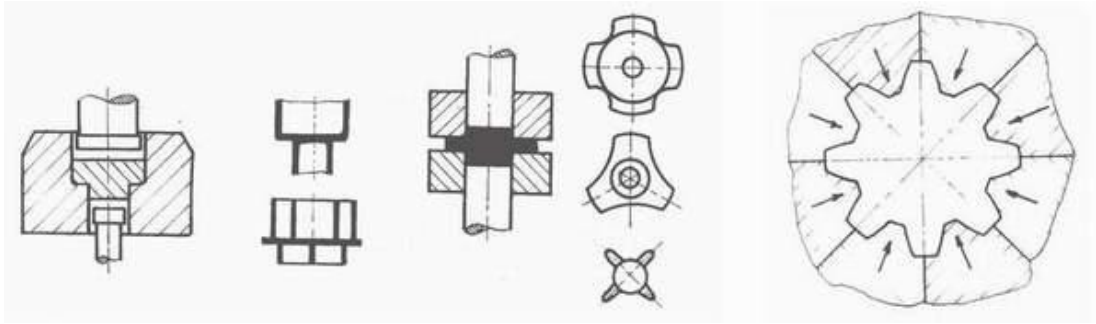
Bei der kombinierten Extrusion bewegt sich das Material in beide Richtungen, wenn der Verformungsgrad im unteren Teil der Extrudate am Boden einer Matrize niedriger sein muss als im oberen Teil, der durch einen Schieber gebildet wird; sonst gelangt das Material nicht in den Boden.



1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d – vyhazovač

Seiten- und Radialextrusion

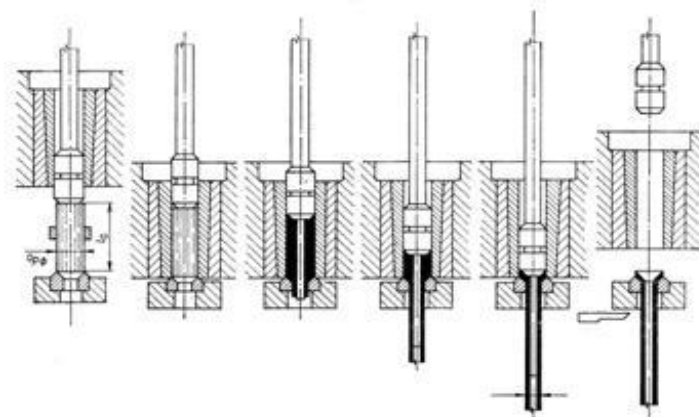
Beim Seitenextrudieren bewegt sich das gebildete Material senkrecht zur Richtung der Schubbewegung. Es wird zur Herstellung von Extrudaten mit beidseitiger Außen- und Innenlagerung verwendet. Das Radialextrudieren besteht in der Umformung, bei der sich das Material und die Maschinenteile in radialer Richtung zur Materialachse bewegen.



4.6. Spezielle Extrusionsverfahren

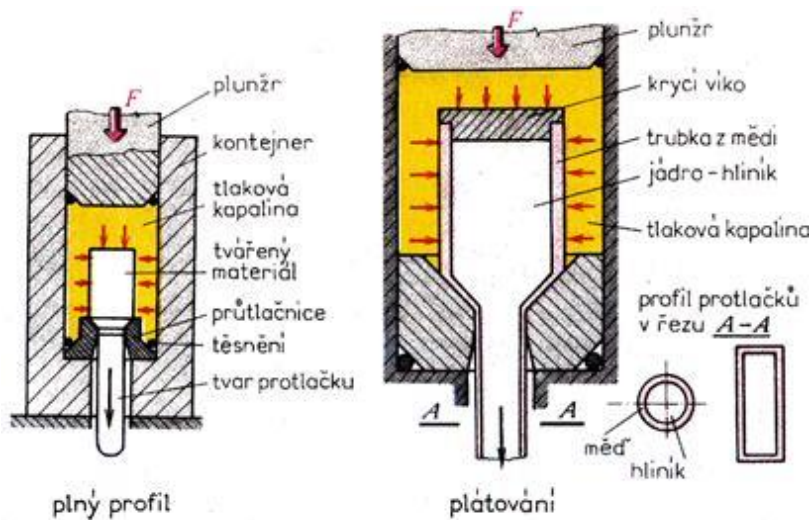
Rohrextrusion

Für die Technologie der Rohrextrusion sind die ersten Halbzeuge Walzblocks von gewünschter Länge. Es folgen das Erwärmen und Stanzen sowie die Vorwärtsextrusion. Wenn der Prozess abgeschlossen ist, befindet sich im Werkzeug Restmaterial, technologischer Abfall, der entfernt werden muss. Der Verformungsgrad ist hoch, der Verlängerungskoeffizient beträgt 8 - 25 (aus dem Halbzeug mit 700 mm Länge und 200 mm Durchmesser kann ein Rohr mit einer Länge von 6-18 mm hergestellt werden).



Hydrostatisches Strangpressen

Eine weitere spezielle Technologie ist die hydrostatische Extrusion, bei der das Halbzeug von einem Fluid mit hohem Druck umgeben ist. Dadurch entsteht eine Spannung auf allen Seiten und die Verformbarkeit des Materials nimmt zu. Die technologischen Möglichkeiten der hydrostatischen Extrusion sind so weit fortgeschritten, dass die Extrusion ohne Phosphatschicht oder für die kupferbeschichteten Produkte durchgeführt werden kann. Der hydrostatische Druck beträgt bis zu 3000 MPa. Die Umformung in einem Arbeitsgang kann bis zu 80% betragen.



Legende: plunžr - Kolben, kontejner - Behälter, tlaková kapalina - Druckflüssigkeit, tvářený Material - gebildetes Material, průtlačnice - Matrize, těsnění, tvar protlačku - extrudierte Form, plný Profil - Vollprofil, krycí víko - Deckel, trubka z mědi - Kupferrohr, jádro - Kern, hliník - Aluminium, Profil protlačků v řezu A-A - Profil von Extrudaten im A-A-Profil, měď - Kupfer, hliník - Aluminium, plátování - Verkleidung

4.7. Extrusionsmaschinen und -werkzeuge

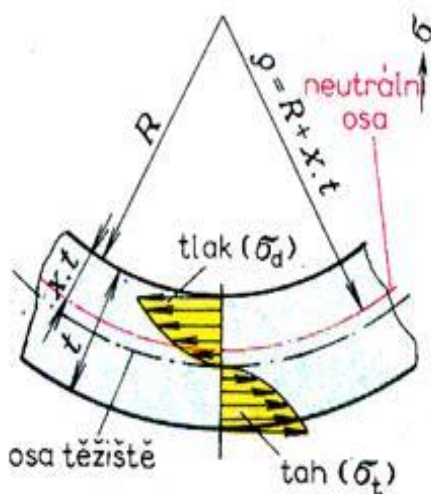
Ein wichtiger Faktor ist auch die Konstruktion des Werkzeugs und die Geometrie von Matrize und Schieber. Es ist nicht möglich, Fasen, Radien, Krümmungen (zaoblení) usw. der Formteile des Werkzeugs auszuwählen. Ein Werkzeug, dessen Hauptteile Schieber und Matrize sind, wird einem bestimmten Druck ausgesetzt, weshalb Material, Wärmebehandlung und Oberflächenrauheit wichtig sind. Die Lebensdauer der Formteile des Werkzeugs liegt zwischen 3000 und 50000 Stück. Der Kaltextrusionsprozess von Stählen wird durch die Festigkeit des Matrizenmaterials begrenzt; beim Rückwärtsextrudieren auch durch die Festigkeit des Pushermaterials.

Für die Kaltextrusion werden hauptsächlich mechanische Kurbel- und Kniehebel-Vertikalpressen und hydraulische Pressen eingesetzt. Die Presskraft beträgt 300 - 120000 kN. In der Warmfließpresstechnik sind die Materialprozesse die Materialien, deren Kaltverformbarkeit begrenzt ist und die teuer wären (z.B. Walzen). Nach der Extrusion werden die Extrudate durch den Ejektor ausgeworfen oder mit Druckluft geblasen. Bei der kombinierten Extrusion werden die Extrudate vom Auswerfer oder Stripper ausgeworfen (je nachdem, ob sie am Schieber haften bleiben oder im Werkzeug verbleiben). Die Innenwände der Extrudate sind leicht konisch mit einer Fase von 1 - 20. Das Werkzeug muss Löcher für Luft- und Schmierstoffleckagen aufweisen.

5. Biegen

5.1. Technologie der Blechumformung - biegen

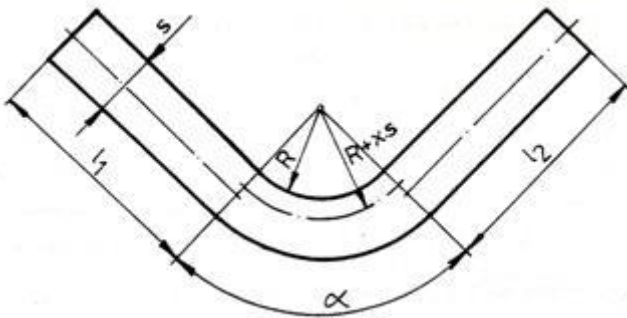
- Biegen ist ein Umformprozess, bei dem das Material in verschiedenen Biege­winkeln mit höherer oder kleinerer Kantenverrundung verformt wird.
- Zum Biegen wird ein Biegewerkzeug verwendet, das aus einem Biegestempel und einer Biegematrix besteht.
- **Das Produkt ist ein Stanzen (Biegen).**
- Das Biegen (die resultierenden Formen können in ihre ursprüngliche Form zurückgebracht werden) in die gewünschte Form funktioniert nach den gleichen Prinzipien der Plastizität wie bei anderen Umformverfahren. Bei Überschreitung der Streckgrenze wird eine plastische Verformung erreicht. Die plastische Verformung wird von einer elastischen Verformung begleitet. Es handelt sich um eine elastische plastische Verformung mit einem anderen Verlauf von der Materialoberfläche zur neutralen Achse.



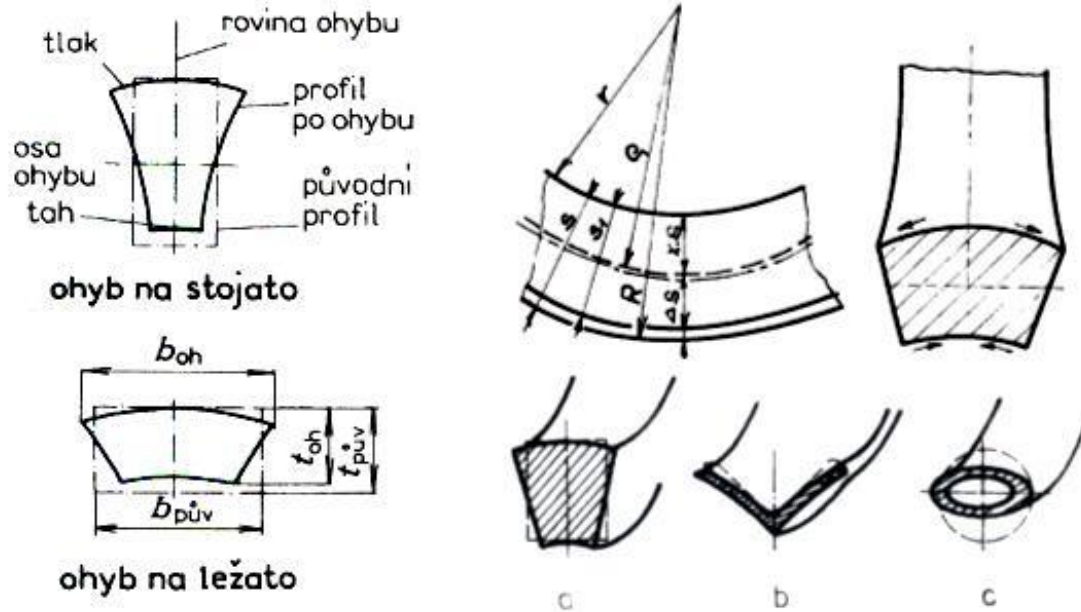
Legende: *neutrální osa* - neutrale Achse, *osa těžiště* - Schwerpunktsachse, *tlak* - Druck, *tah* - Zeichnung

5.2. Verformung des Querschnitts, neutrale Achse

- Biegen verformt den Querschnitt. Bei größerem Querschnitt ist die Verformung höher als bei kleinerem Querschnitt. Bei breiten Bändern ($b \geq 3s$) wird das Material nicht verformt, da der Widerstand des Materials mit großer Breite (aufgrund seiner geringen Dicke) gegen die Verformung in Querrichtung wirkt. Metallschichten an der Außenseite der Biegung dehnen sich aus und erstrecken sich in Längsrichtung und drücken in Querrichtung.
- Um den zentralen Teil des Abschnitts des gebogenen Materials herum erreicht die Zugspannung niedrigere Werte als die Streckgrenze des Materials. Zwischen den beiden Bändern sind die Fasern spannungsfrei und es gibt keine Verformung. Ihre Verbindungen bilden eine so genannte neutrale Achse, in der es keine Spannung gibt und die sich beim Biegen weder verkürzt noch verlängert. Die neutrale Achse befindet sich am Anfang in der Mitte des Abschnitts, beim Biegen bewegt sie sich zur Innenseite der Biegung. Sie ist daher nicht identisch mit der Schwerpunktsachse des gebogenen Materials.



Bewegung der neutralen Achse am Biegepunkt



Querschnittsverformung beim Biegen für verschiedene Höhen und Profile
Legende: tlak - Druck, osa ohybu - Biegeachse, tah - zeichnen, původní Profil - Anfangsprofil, Profil po ohybu - Profil nach dem Biegen, rovina ohybu - Biegeebene

Die Länge des Halbzeugs vor dem Biegen wird aus der Länge der neuronalen Achse bei Biegeteilen und aus der Länge der geraden Abschnitte bestimmt. Bei dünnen Blechen ist der Unterschied nicht signifikant, muss aber bei dicken Blechen berücksichtigt werden. Der Abstand x , der die Position der neutralen Achse kennzeichnet, ist abhängig vom R/t - siehe Tabelle. Der Biegeradius der neutralen Achse beträgt

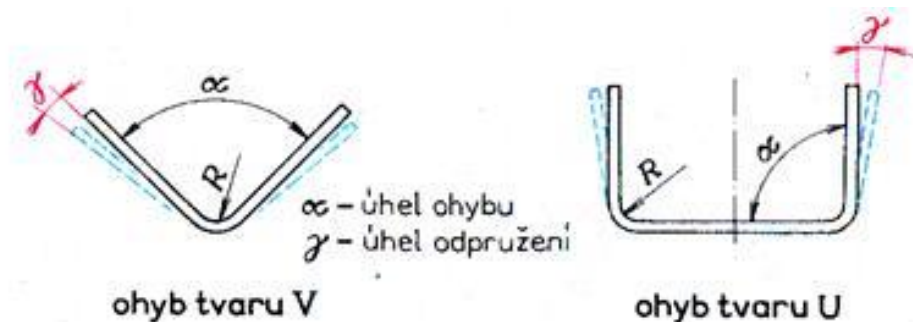
$$\rho = R + x \cdot T$$

wobei

R der innere Biegeradius[mm],
 x Koeffizient der Bewegung der neutralen Achse,
 t Materialstärke[mm].

5.3. Dämpfung

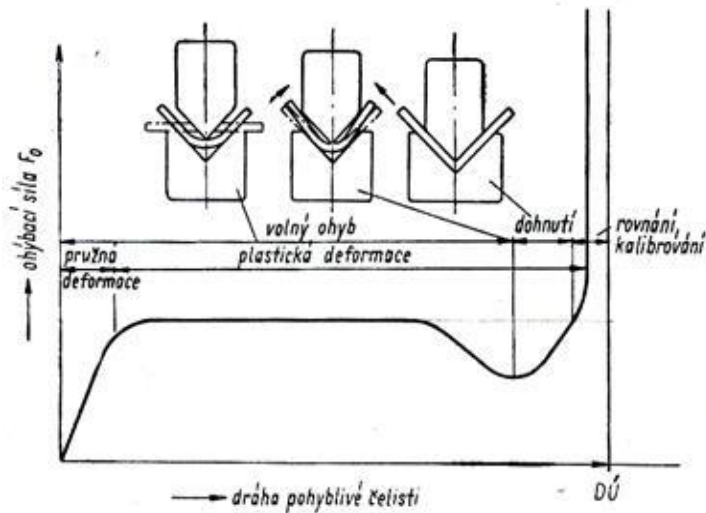
Wenn die äußeren Kräfte nicht mehr auf den zu verformenden Körper wirken, kehren die Abmessungen des Körpers teilweise in den Ausgangszustand zurück, d.h. der Körper dämpft. Während bei den oben genannten Technologien die Dämpfung vernachlässigbar war, ist sie beim Biegen wichtig. Die Dämpfung beim Biegen zeigt sich als ein Winkel deviation, dessen Bedeutung mit der Länge der Arme zunimmt. Die Rückwärtsdämpfung der Biegeteile wird durch die elastische Verformung des Materials um die Neutralachse verursacht. Die Größe der Winkel hängt von der Materialverformbarkeit, dem Biegeradius und der Biegemethode ab. Sie liegt in der Regel zwischen 3 und 15°.



Legende: úhel ohybu - Biegewinkel, úhel odpružení - Dämpfungswinkel, ohyb tvaru V/U - V/U-Form Biegung

Die Dämpfung ist meist wie folgt begrenzt:

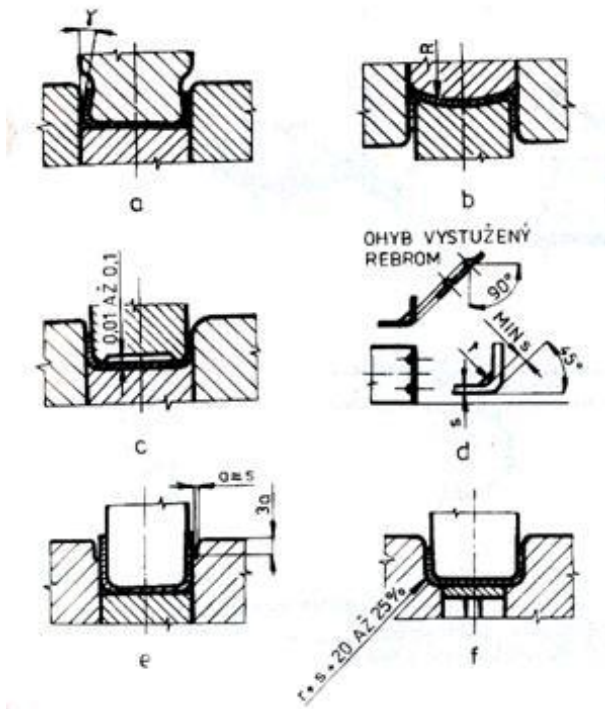
- Das Material wird um den Wert des Dämpfungswinkels γ gebogen, der entweder durch die empirischen Formeln oder aus den Tabellen bestimmt wird. Das Werkzeug muss mit der Winkelkorrektur γ konstruiert werden, sonst hat das Produkt won't die gewünschte Form.
- Es wird eine Kalibrierung verwendet, d.h. die Presskraft am Ende des Presszyklus wird erhöht, lokale plastische Verformungen treten an der Stelle der Biegung auf und der Wert der Dämpfung nimmt ab, bis sie schließlich verschwindet.



Verlauf der Biegekraft einschließlich Kalibrierung

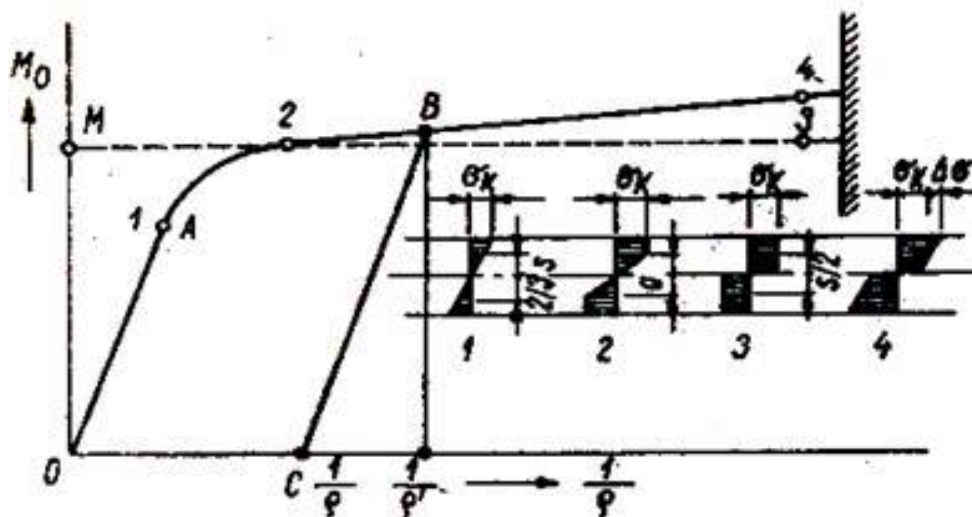
Legende: ohýbací síla - Biegekraft, pružná deformace - elastische Verformung, plastická deformace - plastische Verformung, volný ohyb - lose Kurve, kalibrování - Kalibrierung

- Vertiefungen auf der Prägung werden verwendet, wenn die Polsterung fast vollständig entfernt ist. Die Biegedämpfung kann wie folgt entfernt werden: Auflockerung (podbroušení) der beweglichen Backe um den Winkel γ , Abrundung der Unterseite der beweglichen Backe und des Halters um den Radius R , Verstärkung des Materials in den Ecken durch Stoß, Pressen der Rippe an der Biegestelle, allmähliches Biegen mit dem Auflockern der festen Backe um die Materialdicke und Verstärkung des Materials durch einen Verformungsradius in den festen Backen.



5.4. Spannungsverteilung

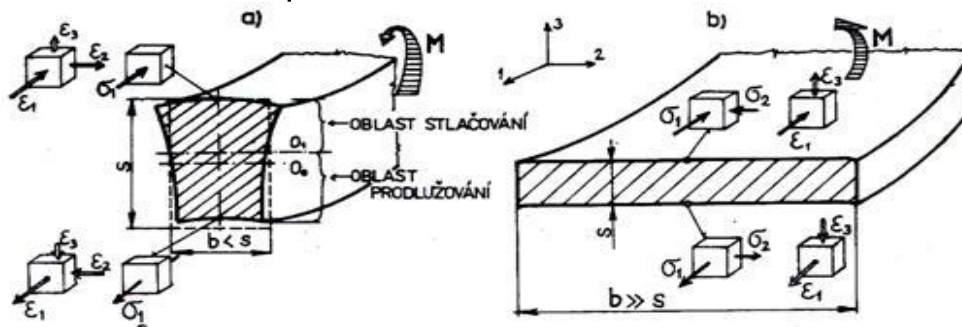
- Beim Biegen ist die Spannung in den Außenfasern der Materialien entgegengesetzt (Zug, Druck).
- Die Abbildung (1) zeigt die Spannungsverteilung im biegebeanspruchten Materialquerschnitt unterhalb der Streckgrenze.
- Steigt die Spannung über die Fließgrenze hinaus, nimmt auch die plastische Verformung zu (in der Mitte). In diesem Fall steigt die Spannung in den Zonen der plastischen Verformung nicht über den Fließgrenzenwert (2) hinaus.
- Steigt das Biegemoment, verschwindet der elastische Kern und die Spannungsgröße bleibt konstant (3).
- Wenn wir die Festigkeit des Materials beim Kaltumformen berücksichtigen, sind die Verhältnisse gemäß (4) und der Abbildung rechts.
- Um die neutrale Achse befindet sich eine Zone mit elastischer Verformung, die nach dem Blitzen eine Dämpfung bewirkt.



Spannungsverteilung im Querschnitt beim Biegen von Material

Am Biegepunkt weist das gebogene Material drei Zonen auf (die Spannung im gebogenen Material bei dünnen Blechen ist in der Abbildung dargestellt):

- Zone der elastischen Verformung um die neutrale Achse,
- Äußere Zone der dauerhaften Verlängerung,
- Innere Zone des permanenten Vortriebs



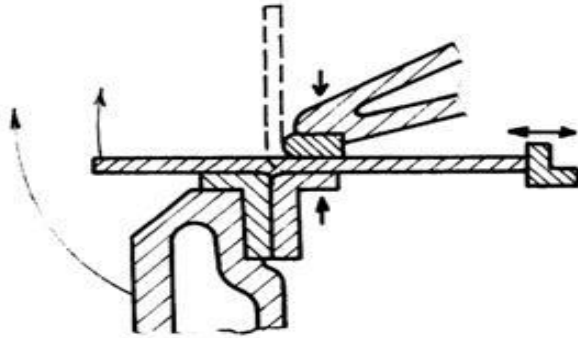
Spannung und Verformung im gebogenen Material

5.5. Biegetechnische Verfahren

- Das Biegen kann frei oder mit einem festen Werkzeug durchgeführt werden.
- Die technologischen Verfahren des Biegens lassen sich wie folgt unterteilen:
 - Durch das verwendete Werkzeug,
 - Um den Krümmungsradius,
 - Mit der technologischen Methode.

Klassifizierung der technologischen Biegeverfahren nach dem verwendeten Werkzeug

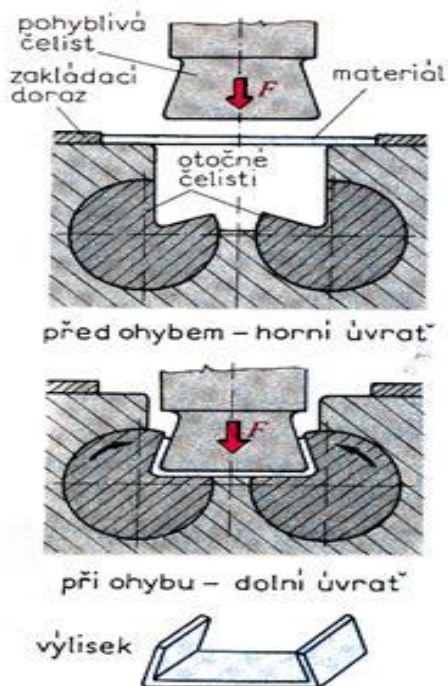
- Manuelles Biegen mit manuellen Biegewerkzeugen, Biegungen.
- Nicht alle Biegevorgänge können mit der Presse durchgeführt werden. Für einige Biegeoperationen sind spezielle Biegewerkzeuge, auch manuell betätigt, vorgesehen, z.B. zum Biegen von langen Bändern und Blechen (diese werden mit einer Maschine mit Scharnierplatte gebogen - siehe Schema in der Abbildung).
- Das zu biegende Material wird auf den Maschinentisch gelegt und bis zum Anschlag nivelliert. Dann wird es an der Biegekante eingespannt. Die Kante der Maschine besteht aus austauschbaren, stahlgehärteten Stäben. Nach dem Einspannen wird das Material durch Kippen der Platte um einen beliebigen Winkel gebogen, der mit einem Anschlag voreingestellt ist. Die Maschine wird mit einer Reihe von Zusatzeinrichtungen geliefert.



Biegewerkzeug mit einer rotierenden Platte

- Biegen mit Pressen in einem Biegewerkzeug (Biegemaschine), dessen bewegliche Backe geradlinige Hubbewegungen ausführt.
- Diese Art des Biegens wird mit den folgenden Pressentypen durchgeführt:
 - mechanisch
 - hydraulisch,
 - Sondermaschinen - je nach technologischem Prozess selbst

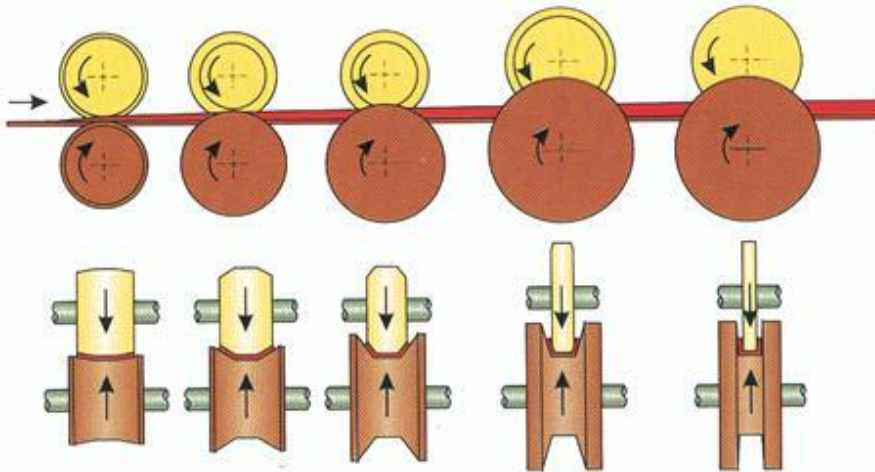
Biegewerkzeuge für den Presseneinsatz sind im Vergleich zu anderen Werkzeugen recht einfach. Die Abbildung zeigt ein Biegewerkzeug zum Biegen mit einem Biegewinkel über 90°. Die zylindrischen Teile des Werkzeugs drehen sich um die Zylinderachsen und die Federn bringen sie in die Ausgangsposition zurück. Das Produkt wird aus dem Werkzeug entfernt, indem es senkrecht zur Biegeebene aus der Biegung gleitet.



Biegewerkzeug (Biegewinkel über 90°)

Legende: pohyblivá čelist - bewegliche Backe, Material - Material, otočné čelisti - rotierende Backen, před ohybem - vor dem Biegen, horní úvrat - oberer Totpunkt, při ohybu - beim Biegen, dolní úvrat - unterer Totpunkt, výlisek - Stanzen

Biegen mit Rollen: Das Biegewerkzeug sind die Rollen, die eine Drehbewegung ausführen. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für das Biegen durch Walzen.



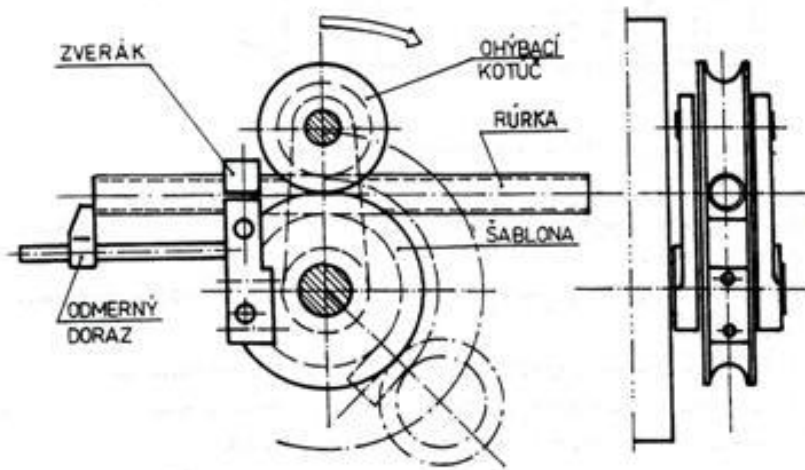
Ende durch Walzen

Klassifizierung der technologischen Verfahren nach Krümmungsradius

- Biegen mit kleinem Radius - große plastische Verformung,
- Biegen mit hohem Radius - geringe plastische Verformung.

Klassifizierung nach Produktionstechnologien

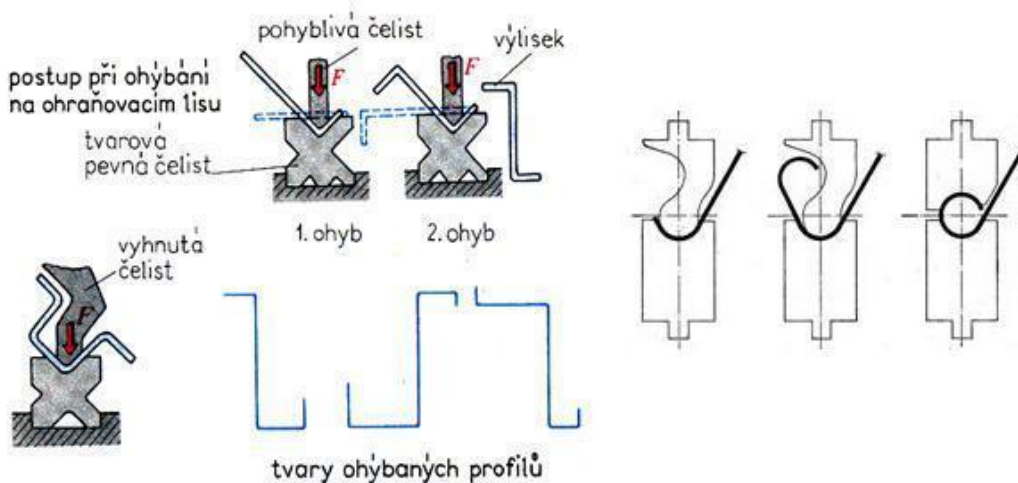
- "klassisches" Biegen - Biegebeispiele wurden in den Abbildungen und Diagrammen dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt das Biegen von Rohren. Das Biegen erfolgt durch Rollen der Scheibe über das in den Schlitz einer anderen Scheibe eingesetzte Rohr. Die Scheiben sind austauschbar, die Schlitz müssen dem Durchmesser der Rohre entsprechen. Verformungen von Rohren werden verhindert, indem das Rohr in den Schlitz eingeführt wird, so dass es sich nicht verbreitern kann.



Biegen von Rohren

Legende: svěrák - Klemme, doraz - Schlag, ohýbací kotouč - Biegescheibe, rúrka (trubka) - Rohr, šablona - Form

Bremsbiegen an Pressen, die zur Herstellung verschiedener dünnwandiger Profile sowie Profile mit einer Dicke von 20 mm und Profile mit kleinem Rundungsradius dienen. Das Prinzip unterscheidet sich nicht vom Biegen auf einer herkömmlichen Presse. Der Unterschied liegt in der Länge der Maschine und der Presse. Die Länge wird durch die Breite der Bremspresse begrenzt.



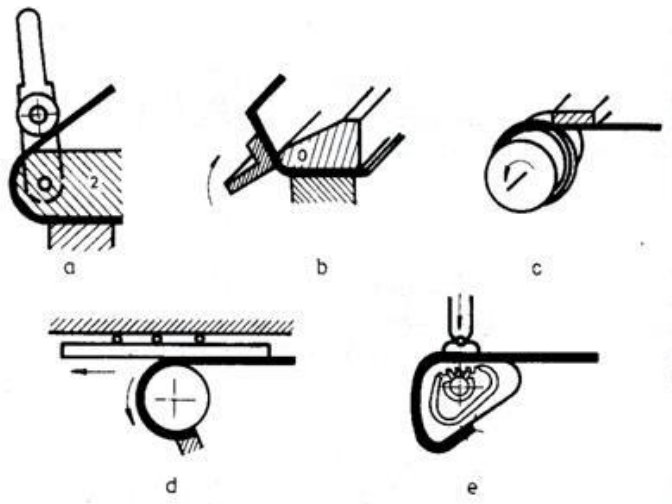
Beispiele für das Biegen von Bremsen

Legende: postup při ohýbání na ohranovacím lisu - Bremsbiegen an der Bremspresse, tvarová pevná čelist - feste Backe, pohyblivá čelist - bewegliche Backe, vylisek - Stanzen, ohyb - Biegen, vyhnutá Cellist - gebogene Backe, tvary ohýbaných Profil - Formen der gebogenen Profile

Das Ausgangsmaterial sind die Blechbänder. Jeder Umformvorgang wird pro Pressen-

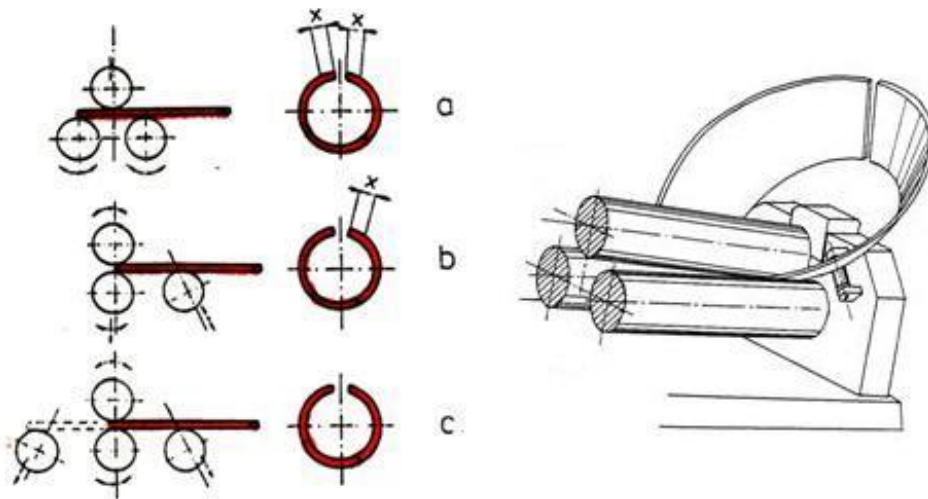
hub durchgeführt, und für jede Profilform muss ein separates Werkzeug an der Presse angebracht werden. Das Werkzeug besteht aus verschiedenen Stahlstäben, die sowohl mit der Maschine geliefert als auch speziell konstruiert und gefertigt werden. Der obere Teil des Werkzeugs kann geformt werden. Die Bremspresse ist eine mechanische Presse, die es ermöglicht, lange Stangenwerkzeuge zu verwenden. Bei beiden Maschinen wird die Biegung in der gesamten Länge des Materials durchgeführt - also in der gesamten Länge.

- Das Flashen (lemováni) ist ein Vorgang, bei dem wir die Kante einer Stanzung verstärken oder ein Halbzeug für eine zusätzliche Fugenbildung vorbereiten müssen. Es wird auch verwendet, um Nuten in der Mitte oder an der Kante zu machen, um die Steifigkeit des Produkts zu erhöhen.
- Das Wickeln (navíjení) ist ein Prozess, bei dem das geformte Material allmählich auf der Rolle aufgewickelt wird und die gewünschte Form ergibt, die mit der Form des Werkzeugs identisch ist. Meistens wird die Wicklung in Coilblechen verwendet.



a - manuell, b - mit Biegewerkzeug, c - Wickelfedern auf Dorn, d - Wickelstangen, e - Wickeln eines Bandes auf eine Form

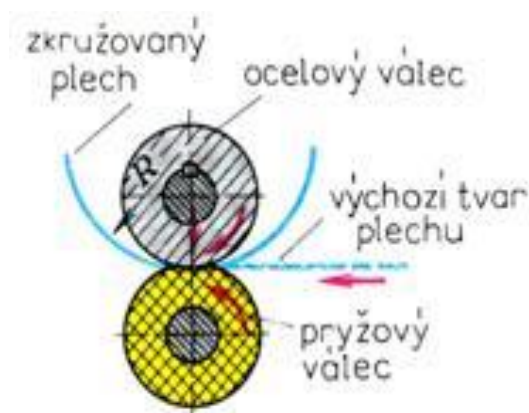
Das Walzenbiegen wird zur Herstellung von zylindrischen oder konischen Hüllen für Behälter, Rohre und sogar für 30 mm dicke Bleche eingesetzt. Dickere Bleche werden dann warmgewalzt. Maschinen, die zu diesem Zweck eingesetzt werden, werden als Biegerollen bezeichnet (siehe Abbildung unten). Die Werkzeuge können Drei- oder Mehrrollenwerkzeuge sein, deren Ausführung von der Blechdicke und den Anforderungen an die Rundung der Blechenden abhängt.



Anordnung der Biegerollen (links) und Detailansicht einer Kegelbiegung (rechts)
 a - dreifach gerolltes symmetrisches Werkzeug, b - dreifach gerolltes unsymmetrisches Werkzeug, c - vierfach gerolltes Werkzeug

Dünne Bleche werden mit einer Stahl- und Gummiwalze auf den Maschinen gebogen - Biegetechnik mit elastischem Werkzeug. Der Biegeradius ändert sich in Abhängigkeit von der Gummikompression. Die Oberflächenqualität der Produkte ist wesentlich besser, aber es ist mehr Umformarbeit notwendig, da ein Teil davon für die Verformung des elastischen Teils der Maschine - Gummi - notwendig ist.

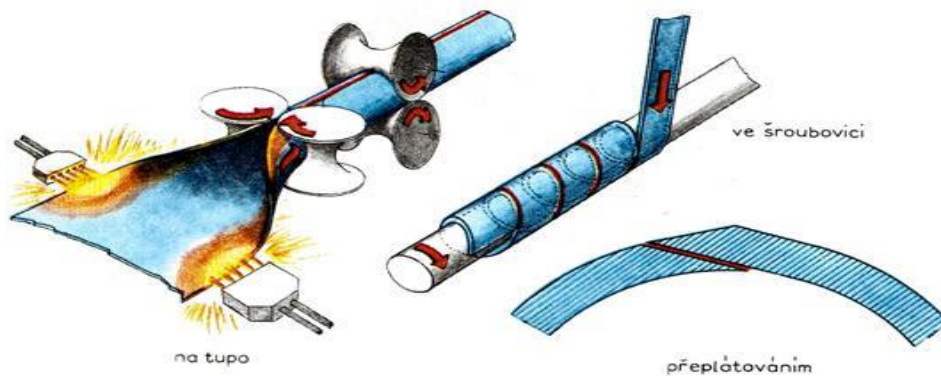
Das Walzen, Profilieren, Wickeln auf Pressen wird durchgeführt, um eine kreisförmige Form an den Blechkanten zu erzeugen. Es besteht aus einem allmählichen kontinuierlichen Biegen von Bändern auf Profiliermaschinen und wird zur Herstellung von Rohren (geschweißt, dünnwandig) und Profilen oder zum Wickeln von Scharnierflügeln unter Verwendung der vertikalen Bewegung des Pressbalkens verwendet. Beim Walzen erfolgt eine allmähliche Formänderung durch Biegen mit unterschiedlich dimensionierten Rollen, so dass eine horizontale Spannung im Blech entsteht und sich das Band mit hoher Geschwindigkeit (ca. 25 m.min⁻¹) von selbst bewegt.



Biegewerkzeug mit Gummirolle

Legende: zkružovaný plech gebogenes Blech, ocelový válec - Stahlwalze, výchozí tvar plechu - Ausgangsblechform, pryžový válec - Gummiwalze

Für die Profilierung können einfache zweiteilige Werkzeuge verwendet werden, die als Paar Profilscheiben ausgeführt sind. Die Abbildung links zeigt ein Werkzeug, das zum seitlichen Biegen eines Blechs geeignet ist, die Abbildung rechts zeigt die Anpassung für die Sicken (žlábkování). Die seitliche Biegung und die Nut können sowohl am Rand eines ebenen Blechs (Bandes) als auch am Rand eines zu einer zylindrischen Form gewalzten Blechs vorgenommen werden. Durch allmähliches Biegen ist es möglich, ein Profil beliebiger Länge herzustellen, auch bei komplexeren Profilen.

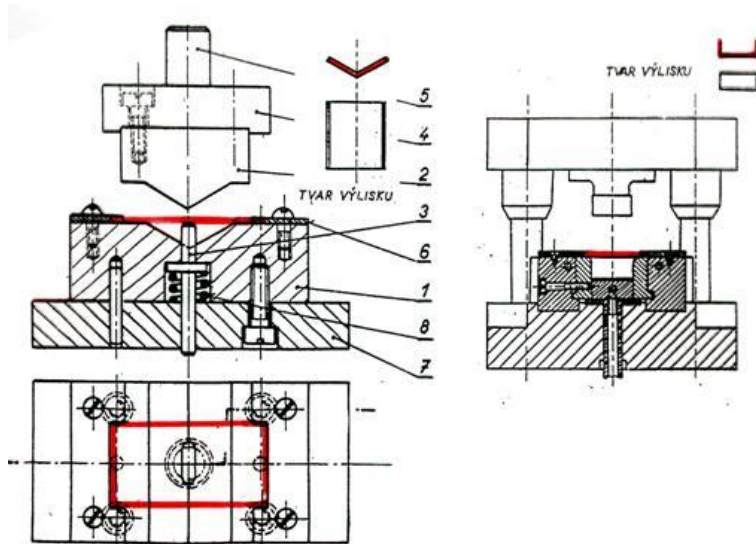


Herstellung von dünnwandigen Rohren durch Profilierung, Wicklung, Überlappung und Überlappung

Legende: na tupo - butt, ve šroubovici - helix, přeplátováním - überlappend

5.6. Biegen von Werkzeugen

Das Biegewerkzeug besteht aus einem Biegestempel und einer Biegematrize oder einem Lastanschlag. Biegewerkzeuge können durch die Methode und Technologie des Biegens unterteilt werden, meist für eine U- oder V-Form. Biegewerkzeuge sind in der Regel nicht getrennt und werden als kombinierte Werkzeuge ausgeführt.

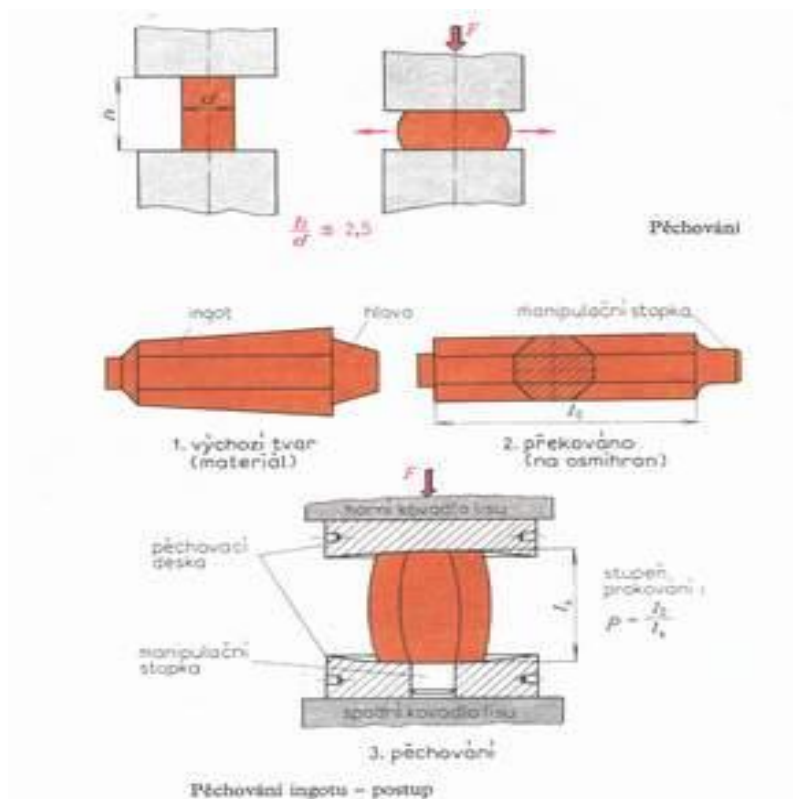


Werkzeuge für ein V (links) und U (rechts) gekrümmt

6. Spezielle Schmiedeverfahren

6.1. Stauchen

- Zu den grundlegenden Verfahren des Freiformschmiedens gehört das Stauchen.
- Stauchen ist der einfachere Schmiedeprozess, bei dem zwischen zwei Flach- oder Umformbacken eine plastische Verformung des Materials auftritt.
- Andererseits ist das Stauchen die kraft- und energieintensivste Schmiedeoperation. Es kann entweder direktes Schmieden beim Schmieden von Flachschiemteilen oder eine Voroperation zum perfekten Schmieden des Materials sein, die die Anisotropie reduziert und die Faseranordnung verbessert.
- Es reduziert die Höhe und erweitert die Querschnittsfläche.
- Beim Schmieden muss das Material gleichmäßig erwärmt werden und parallele Stirnflächen gewährleisten, die Materialdicke reduzieren (Biegegefahr) und die Position senkrecht zur Maschinenachse sicherstellen.



Stauchen von zylindrischen Halbfabrikaten

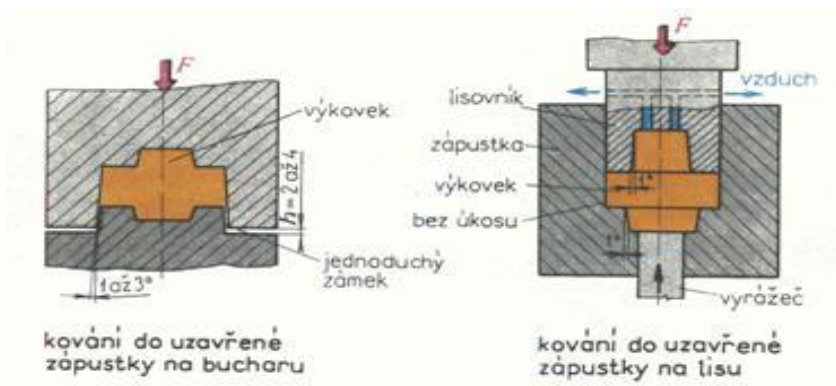
Legende: pěchování - Stauchen, Barren - Barren, manipulační stopka - Handhabungsschiff, výchozí tvar materiálu - Ausgangsform des Materials, překováno na osmihran - zu einem Achteck geschmiedet, pěchovací deska - Stauchplatte, spodní kováčská lisu - Unter-

6.2. Vervollständigung

- Eine weitere Technologie des Freiformschmiedens ist das Auswalken (Ziehen).
- Es handelt sich um den am weitesten verbreiteten Schmiedevorgang, bei dem mehr Stauchvorgänge nebeneinander durchgeführt werden, wodurch der Querschnitt erweitert und gleichzeitig reduziert wird.
- Das Halbzeug wird meist um 90° gedreht und um den Abstand p verschoben, wodurch die Ausdehnung kompensiert wird. Der Hub p ist immer kleiner als die Breite der Matrize s ist.

6.3. Präzisionsschmieden

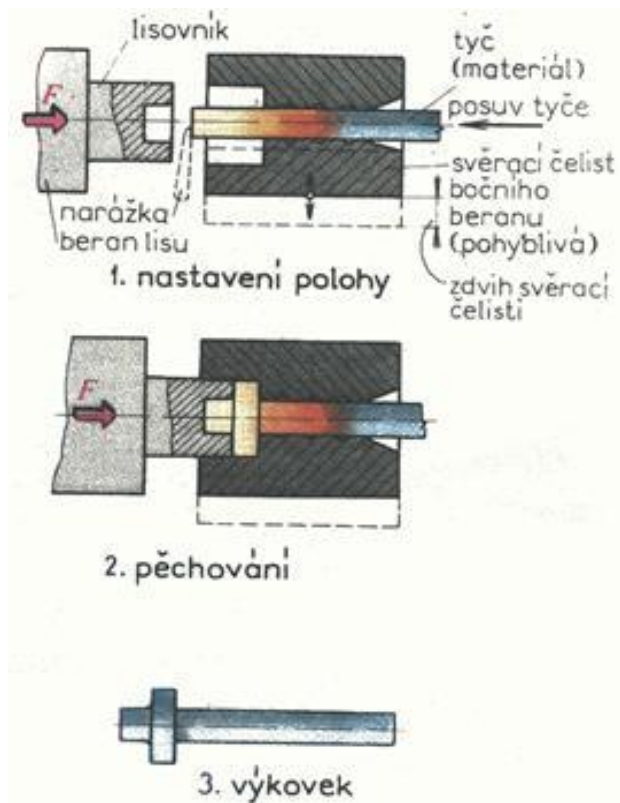
- Schmiedeteile mit minimalen Bearbeitungszugaben und Fasen werden in geschlossenen Matrizen durch sogenanntes Präzisionsschmieden hergestellt.
- Beim Präzisionsschmieden sind das Volumen und die Zentrierung des in die Matrize eingesetzten Materials strikt zu beachten. Rotierende Formen werden am häufigsten bevorzugt.



Legende: výkovek - Schmieden, jednoduchý zámek - einfaches Schloss, kování do uzavřené zápustky na bucharu - Schmieden in geschlossener Matrize auf Hammer, lisovník - Stempel, zápustka - Matrize, bez úkosu - ohne Fase, vyrážec - Auswerfer, vzduch - Luft, kování do uzavřené zápustky na lisu - Schmieden in geschlossener Matrize auf Presse

6.4. Schmieden mit horizontaler Schmiedepresse

- Das Schmieden auf einer horizontalen Schmiedepresse ermöglicht eine teilweise oder vollständige Automatisierung des Prozesses.
- Sie besteht in der Verwendung einer horizontalen Kurbelpresse, die hauptsächlich zum Stauchen von Stangenmaterial und zum Arbeiten mit geschlossenen Matrizen geeignet ist.
- Das Prinzip ist in der Abbildung dargestellt.
- Es verwendet eine geschlossene dreiteilige Matrize, das Schmieden erfolgt ohne Grat. Der Hohlraum der Matrize ist zweiteilig, geteilt durch eine vertikale oder horizontale Ebene, mit einem aufgerauhten Durchgang für Stangenmaterial. Es fungiert als Spannfutter für das Stangenmaterial, wenn sich die beiden Hälften einander nähern. Das dritte Teil (Stauchteil) wird in axialer Richtung in den Hohlraum eingesetzt.
- Prinzip: Die Stange wird in die Schmiedeposition bis zum Anschlag bewegt. Auf diese Weise wird das Volumen des geschmiedeten Materials bestimmt. Dann klemmt der zweiteilige Block die Stange und bewegt den Anschlag. In dieser Phase wird der vorstehende Teil der Stange erwärmt (heute ist es meist induktiv).
- Nach dem Stauchen des erwärmten Endes der Stange trennt das Gleitblatt das Schmieden von der Stange und der Zyklus wird wiederholt.

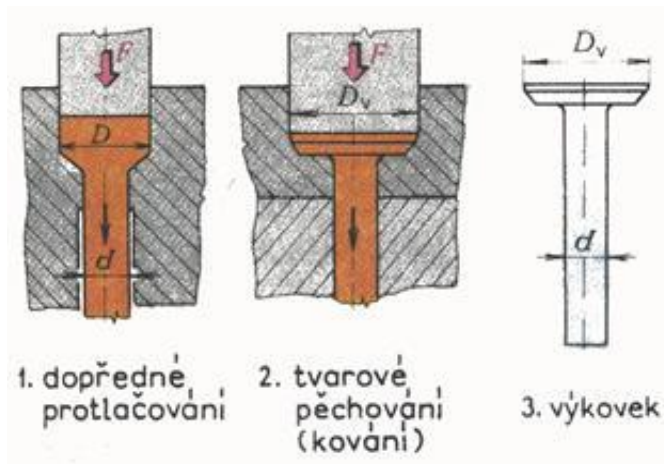


Schmieden mit paralleler Schmiedepresse

Legende: lisovník - Stanzung, narážka - Anschlag, beran lisu - Pressbalken, tyč (Material) - Stange (Material), posuv tyče - Bewegung der Stange, svěrací čelist bočního beranu (pohyblivá) - Klemmbacke des Längsträgers (beweglich), zdvih svěrací čelisti - Hub von, nastavení polohy - Positionierung, pěchování - Stauchen, výkovek - Schmieden

6.5. Strangpressschmieden

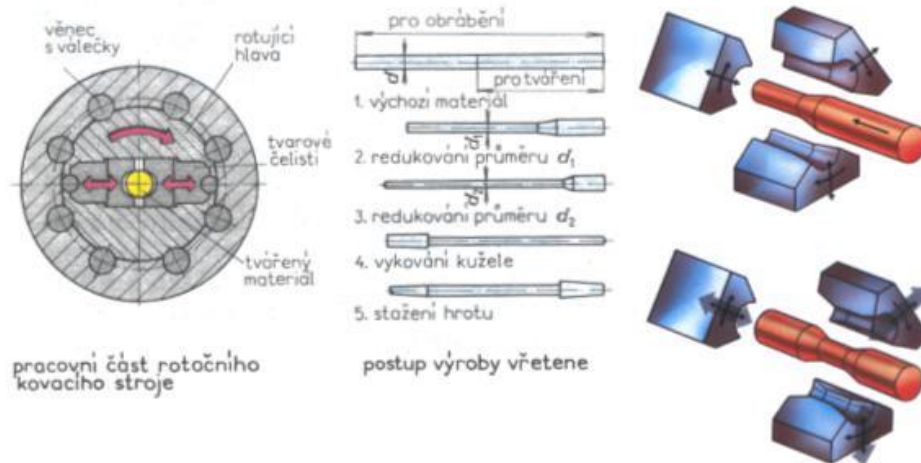
- Ein weiterer technologischer Prozess ist das Schmieden - das Heißextrudieren, wenn das geformte Material durch den Extruder in einer geschlossenen Matrize gepresst wird.
- Es ist eine Kombination aus Strangpressen und Schmieden. Dieses Verfahren wird für Aluminium und Kupferlegierungen sowie für Stahl angewendet.
- Es erhöht die Duktilität von Metall, da das Material einer räumlichen Druckbelastung ausgesetzt ist.
- Sie kann als Vorwärts-, Rückwärts- oder kombinierte Extrusion durchgeführt werden. Es ist notwendig, auch die Reibung und die hohe Festigkeit und Hitzebeständigkeit der Werkzeuge zu berücksichtigen....



Legende: dopředné protlačování protlačování - Vorwärtsextrusion, tvarové pěchování - Formbeständigkeit, výkovek - Schmieden

6.6. Rotierendes Schmieden

- Ein besonderes Schmiedeverfahren ist das sogenannte Rotationsschmieden.
- Es wird zur Reduzierung des Querschnitts auf einen kleineren Durchmesser oder zum Schmieden einer zylindrischen Form aus einem Quadratprofil verwendet. Im Gegensatz zu anderen Umformverfahren ist das rotierende Schmieden kalt, nur zur Herstellung von Bauteilen mit größerem Durchmesser wird das Warmschmieden eingesetzt.
- Es gehört zu den Schmiedeverfahren, da die Verformung durch wiederholte Stöße erfolgt.
- Prinzip: Zwei radial bewegliche Werkzeuge werden gedreht. Sie werden durch die Zentrifugalkraft zum Rand hin verschoben. Hier treffen sie auf gehärtete Zylinder, die ihnen einen Rücklaufimpuls geben. Dadurch entsteht eine Wiederholung.
- Das Halbzeug wird langsam und axial in den Umformprozess eingebracht.
- Beispiele für rotierendes Schmieden und Verfahren zum Drehen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

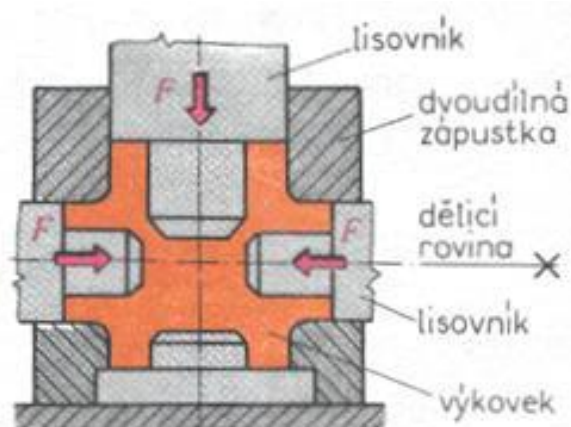


Rotierendes Schmiedeprinzip

Legende: věnec s válečky - Felge mit Rollen, rotující hlava - rotierender Kopf, tvarové čelisti - Formbacken, tvářený materiál - Formmaterial, pracovní část rotačního stroje - Arbeitsteil der Drehmaschine, pro obrábění - für die Bearbeitung, pro tváření - für die Umformung, výchozí materiál - Ausgangsmaterial, redukování průměru - Durchmesserreduzierung, vykování kužele - Schmieden eines Kegels, stažení hrotu - Spitzenreduzierung, Nachbearbeitung výroby vřetene - Spindelherstellung

6.7. Multidirektionales Schmieden

- Das letzte spezielle Schmiedeverfahren ist das multidirektionale Schmieden.
- Das Material in der geschlossenen Matrize wird dem Druck des Stempels aus mehreren Richtungen ausgesetzt.
- Das Schmieden ist präzise und mit minimalen Bearbeitungszugaben.



Legende: lisovník - Stempel, dvoudílná zápustka - zweiteilige Matrize, dělicí rovina - Trennhobel, výkovek - Schmieden

STATIK

1. Statische Grundbegriffe, Prinzipien und Axiome

1.1. Grundbegriffe

Starre Karosserie

es bezieht sich auf einen perfekt starren Körper. Es ist eine Figur, ein Körper, bei dem sich der Abstand zwischen zwei beliebigen, zufällig ausgewählten Punkten durch die Bewegung des Körpers nicht ändert.

Partikel

physisches Objekt, dessen Abmessungen vernachlässigbar sind. In der Statik bezieht sich der Punkt auf den Punkt eines Starren, in dem das gesamte Gewicht des gesamten Starren konzentriert ist.

Kraft und Moment

Kraft ist ein grundlegendes Maß für die gegenseitige Wirkung zweier Objekte. Kraft ist eine Vektorgröße. Kraft ist ein Vektor, der mit einer Linie verbunden ist.

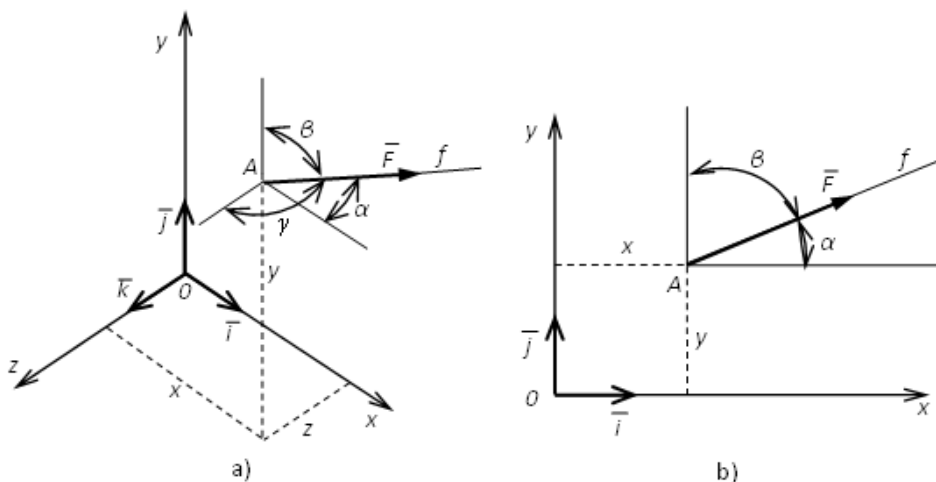


Abbildung 1.1

- Die Kraft im Raum (Abbildung 1.1a) wird durch 6 Parameter bestimmt: Anwendungspunkt $A(x, y, z)$ - 3 Parameter, Größe F - 1 Parameter, Position f und Richtung - Winkel $\alpha, \beta, (\gamma)$ - 2 unabhängige Parameter, da die Winkel wie folgt miteinander verknüpft sind:

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1.$$

- Die Kraft in der Ebene (Abbildung 1.1b) wird durch 4 Parameter bestimmt: $A(x, y)$, $F, \alpha (\beta)$, seitdem

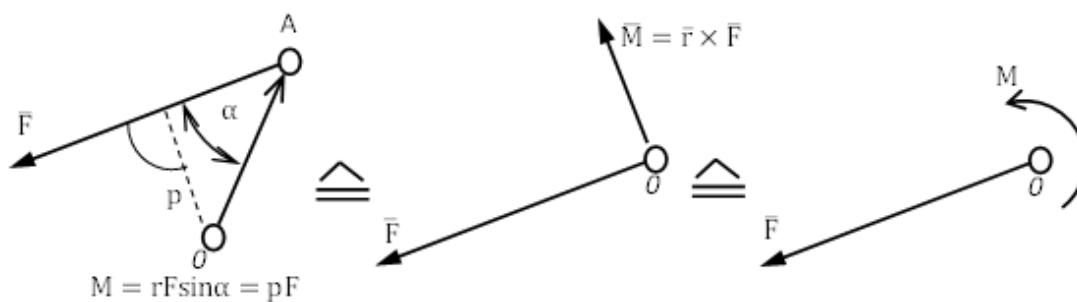
$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$$

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta = 1.$$

Kraftwirkung:

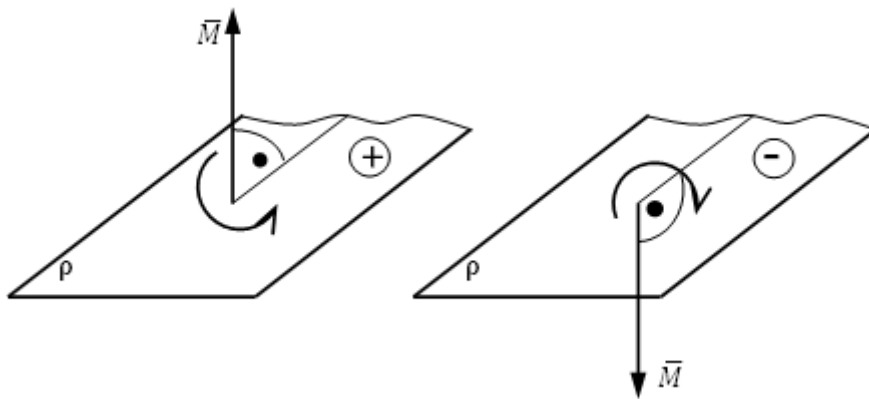
- Gleiten** - identisch für alle Punkte des Objekts, auf die die Kraft wirkt. Sie ist gleich der Kraft,
- Rotation** - unterschiedlich für verschiedene Punkte des Objekts. Die Größe des Rotationseffekts hängt vom senkrechten Abstand zwischen dem Punkt und dem Kraftträger ab und wird durch das Moment zum jeweiligen Punkt bestimmt.

Moment - ist ein Vektor, der als Vektorprodukt $\underline{M} = \underline{r} \times \underline{F}$ definiert ist. Absolute Größe des Moments zu jedem Punkt, z.B. A entspricht dem Kraftprodukt und dem Momentenarm - seinem senkrechten Abstand zu diesem Punkt (Bild 1.2).



Die Richtung des Momentenvektors ergibt sich aus der Richtung der Drehung der Kraft \underline{F} zum Punkt A. Das Moment ist positiv, wenn die Drehung gegen den Uhrzeigersinn erfolgt.

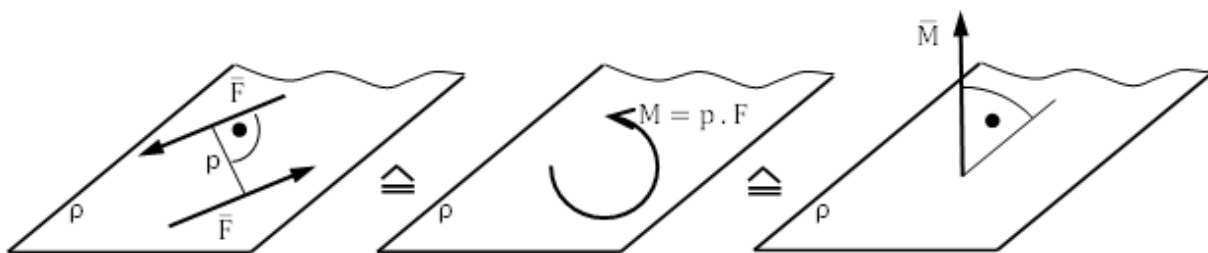
Der Momentenvektor wird als Vektor senkrecht zur Rotationsebene dargestellt. Die Richtung des Vektors wird mit der Rechtsregel bestimmt (Finger der rechten Hand zeigen die Richtung der Drehung an, Daumen zeigt die Richtung des Vektors \underline{M} an (Bild 1.3).



Kraftpaar (reines Moment) - zwei parallele Kräfte, gleich groß \times mit unterschiedlicher Wirkungsweise. Das Kraftpaar hat keine Gleitwirkung, sondern nur eine Drehwirkung, die dem Produkt aus einer Kraft und dem senkrechten Abstand zwischen den Kräften entspricht. Die Wirkung des Kraftpaares wird durch sein Moment bestimmt (Bild 1.4).

$$M = p \cdot F$$

Der Vektor des Kraftpaarimpulses \underline{M} ist ein freier Vektor, d.h. er kann frei im Raum bewegt werden und steht senkrecht zur Ebene der Kraftpaarwirkung.



1.2. Kraft- und Momenteinheiten

Die Krafteinheit ist 1 Newton[N]. Es ist eine Kraft, die eine Beschleunigung von 1ms^{-2} auf 1 kg Gewicht erzeugt, d.h.

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Die Moment Einheit ist $1\text{N} \cdot \text{m}$ [Nm].

1.2.1. Kraftsysteme

- Zwei und mehr Kräfte, die auf ein Objekt wirken, bilden ein Kraftsystem.
- Wenn ein Kraftsystem durch eine Kraft \underline{R} ersetzt werden kann, wird diese Kraft als resultierendes Kraftsystem bezeichnet. Ein Kraftsystem hat eine Gleitwirkung in Richtung des resultierenden \underline{R} -Trägers (Bild 1.5).

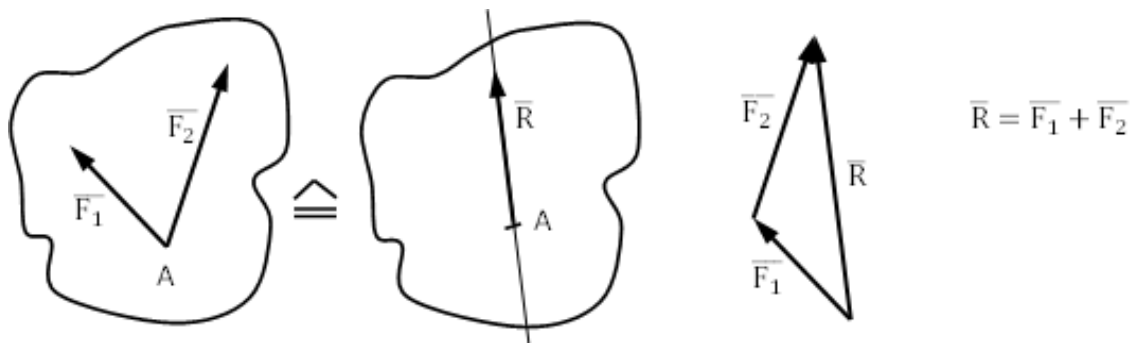


Abbildung 1.5

- Wenn ein Kraftsystem durch ein Moment \underline{M}_v ersetzt werden kann, wird dieses Moment als resultierendes Moment des gegebenen Kraftsystems bezeichnet. Das Kraftsystem hat somit eine Rotationswirkung in der Ebene senkrecht zum Moment \underline{M}_v (Bild 1.6).

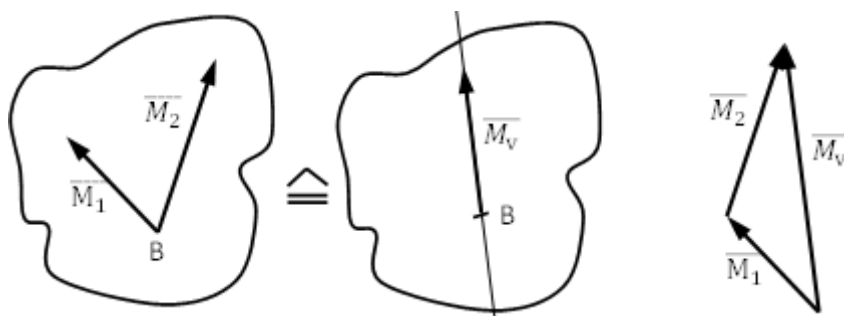


Abbildung 1.6

- Im Allgemeinen hat das Kraftsystem sowohl Gleit- als auch Dreheffekte.
- Das Kraftsystem ist ausgeglichen, wenn der resultierende Gleit- und Rotationseffekt Null ist. Das einfachste ausgewogene Kraftsystem besteht aus zwei Kräften auf einen Träger, die von gleicher Größe und unterschiedlicher Richtung sind (Bild 1.7).

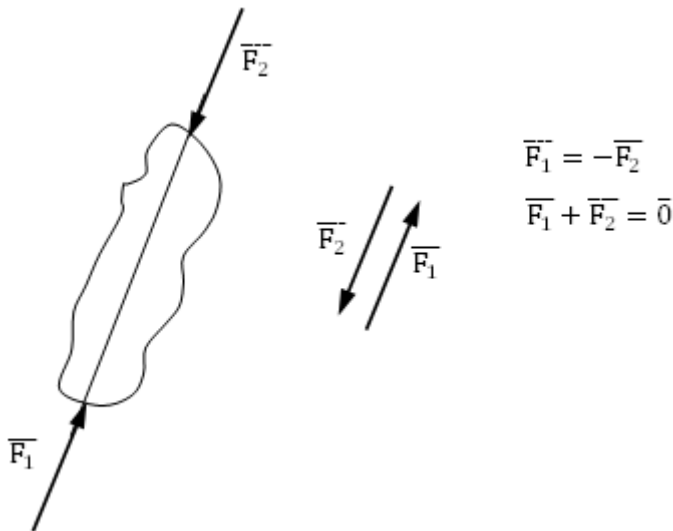


Abbildung 1.7

1.3. Klassifizierung von Kräften durch Handeln

Externe Kräfte (Abbildung 1.8a), die die Wirkung der umgebenden Objekte auf das untersuchte Objekt darstellen. Dazu gehören die Belastungskräfte - primäre (\vec{F}) und bindende Reaktionen - sekundäre (\vec{A}), abhängig von den Belastungskräften,

intern (Abbildung 1.8b), die die Wirkung eines Teils eines starren (Systems) auf ein anderes darstellt (\vec{N}_1, \vec{N}_1'). Schnittgrößen werden durch äußere Kräfte verursacht.

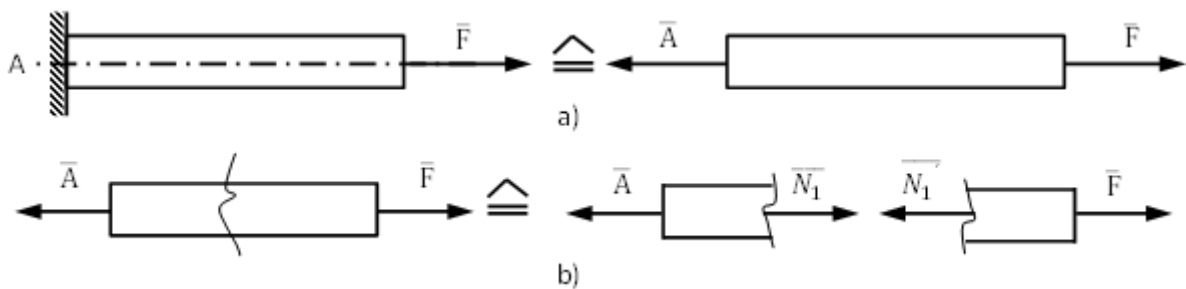


Abbildung 1.8

1.4. Zerlegung der Kraft, Kraftkomponenten

Die Kraft F in einem bestimmten Punkt in einer Ebene kann in zwei Komponenten F_1, F_2 unterteilt werden. Wenn eine Kraft F und die Richtungen ihrer Komponententräger an-

gegeben werden (bestimmt durch die Winkel α , β), können wir die Größe der Komponenten F_1 , F_2 bestimmen (Abbildung 1.9). Wenn sich aus den Kräften F_1 und F_2 eine Kraft F ergibt, dann ist $\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2$

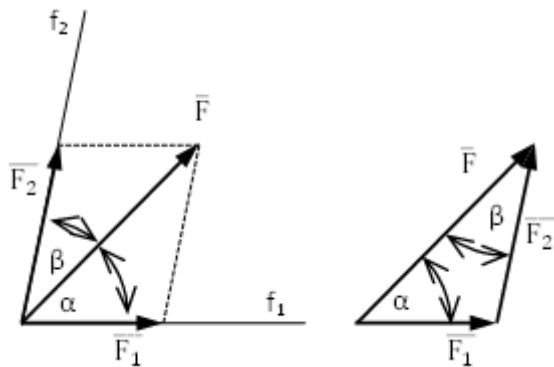


Abbildung 1.9

Im Raum können die Kräfte in drei Komponenten aufgeteilt werden (Bild 1.10a).

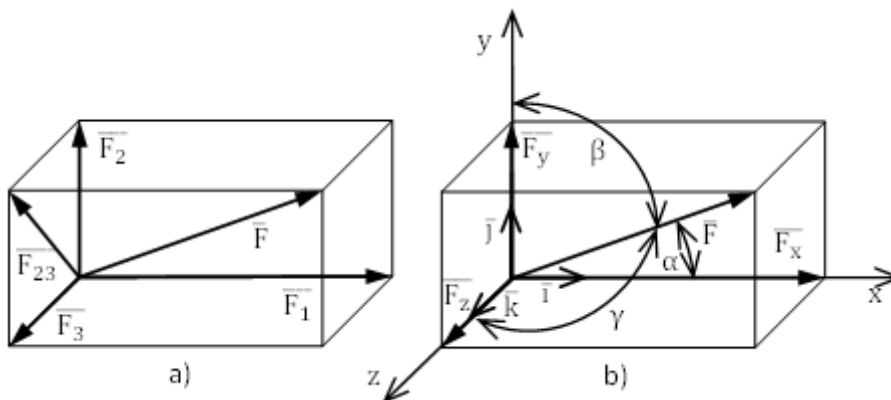


Abbildung 1.10

$$\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_{23}$$

$$\underline{F}_{23} = \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$

$$\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$

Wenn die Kraftkomponenten zueinander senkrecht stehen, können Koordinatenachsen in ihre Richtung positioniert werden. Sie werden mit F_x , F_y , F_z markiert und als rechtwinklige Komponenten der gegebenen Kraft bezeichnet (Bild 1.10b).

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z$$

In einem rechteckigen Koordinatensystem ergeben sich die Größen der Komponenten wie folgt:

$$\begin{aligned}
 F_x &= \underline{F} \cdot \underline{i} = F \cos \alpha \\
 F_y &= \underline{F} \cdot \underline{j} = F \cos \beta \\
 F_z &= \underline{F} \cdot \underline{k} = F \cos \gamma
 \end{aligned}
 \quad \underline{i}, \underline{j}, \underline{k} - \text{unit vectors}$$

Komponenten können wie folgt ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned}
 \underline{F}_x &= F_x \underline{i} \\
 \underline{F}_y &= F_y \underline{j} \\
 \underline{F}_z &= F_z \underline{k}
 \end{aligned}$$

Die resultierende Kraft wird wie folgt beschrieben:

$$\underline{F} = F_x \underline{i} + F_y \underline{j} + F_z \underline{k}$$

Wenn wir die Größe der Kraftkomponenten kennen, kann ihre Größe wie folgt berechnet werden:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

Und seine Richtung kann mittels der Winkel α , β , (γ) bestimmt werden:

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F}, \quad \cos \beta = \frac{F_y}{F}, \quad \cos \gamma = \frac{F_z}{F}.$$

1.4.1. Varignon's Theorem

Das Kraftmoment zu einem bestimmten Punkt entspricht der Summe der Komponentenmomente zum gleichen Punkt. Gemäß Abbildung 1.11 ist das Kraftmoment \underline{F} zum Punkt 0 $\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}$.

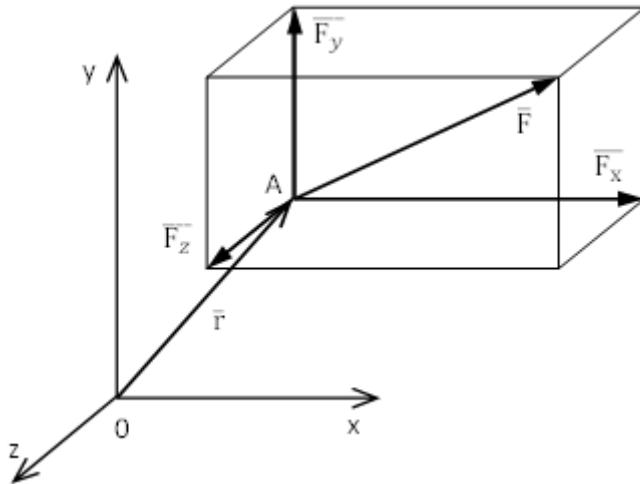


Abbildung 1.11

Das Moment der Kraft \underline{F} bis Punkt 0 ist $\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}$, weil

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z,$$

$$\underline{M}_0 = \underline{r} \times (\underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z),$$

$$\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}_x + \underline{r} \times \underline{F}_y + \underline{r} \times \underline{F}_z, \text{ a teda}$$

$$\underline{M}_0 = \underline{M}_{0Fx} + \underline{M}_{0Fy} + \underline{M}_{0Fz}.$$

1.5. Statische Grundprinzipien und Axiome

Axiom ist ein grundlegender Satz, der ohne Beweise akzeptiert wird. In der Regel basiert es auf experimentellen Erfahrungen.

Die klassische Mechanik basiert auf drei grundlegenden Newton-Gesetzen:

- Gesetz der Trägheit (1. Newton-Gesetz)
- Gewererecht (2. Newton-Gesetz)
- Gesetz der Aktionsreaktion (3. Newton-Gesetz)

Die Statik basiert auf den folgenden Axiomen:

1.5.1. Axiom der Trägheit (1. Newton-Gesetz)

Ein ruhendes oder gleichmäßiges Objekt bleibt in diesem Zustand, wenn keine äußere Kraft auf es wirkt oder wenn ein ausgewogenes Kraftsystem auf es wirkt.

1.5.2. Axiom der Aktionsreaktion (3. Newton-Gesetz)

Für jede Aktion gibt es eine Reaktion von gleicher Größe und unterschiedlicher Richtung. Das bedeutet, dass die Wirkung eines Objekts auf ein anderes gleich ist wie die Wirkung des zweiten Objekts auf das erste, jedoch mit unterschiedlicher Richtung (Bild 1.12).

$$\underline{F}_{12} + \underline{F}_{21} = 0$$
$$\underline{F}_{12} = -\underline{F}_{21}$$

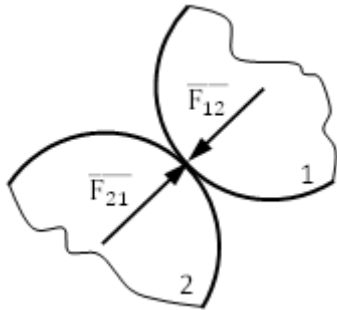


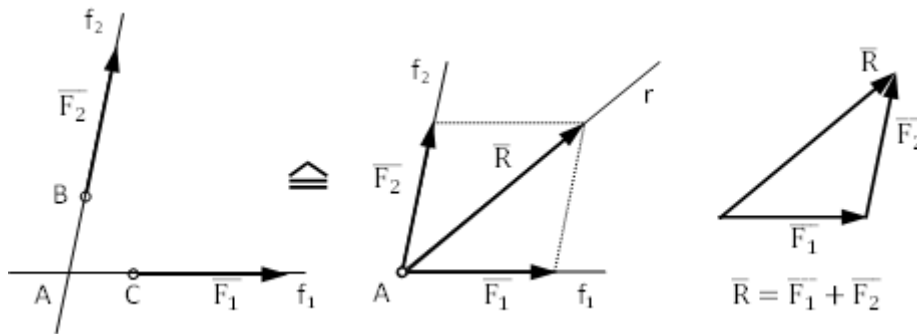
Abbildung 1.12

1.5.3. Axiom der konservierenden Wirkung

Die Wirkung eines bestimmten Kraftsystems ändert sich nicht, wenn ein ausgewogenes Kraftsystem hinzugefügt oder entfernt wird.

1.5.4. Axiom der Kräfte, die sich zusammensetzen.

Das resultierende \underline{R} zweier gleichzeitiger Kräfte F_1 a F_2 entspricht der Summe ihrer Vektoren $\underline{R} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2$ und verläuft durch den Schnittpunkt ihrer Wirkungslinien (Bild 1.13).



BEISPIEL 1

Zu Beginn des ausgewählten Koordinatensystems $0, x, y$ wirkt die Kraft F der Größe $F = 6\text{kN}$ (Bild 1.1.1). Die Richtung der Wirkungslinie der Kraft F ergibt sich aus dem Winkel $\alpha = 30^\circ$. Teilen Sie die Kraft F in ihre Komponenten $\underline{F}_x, \underline{F}_y$, deren Wirkungslinien f_x, f_y identisch sind mit den Achsen des Koordinatensystems x, y .

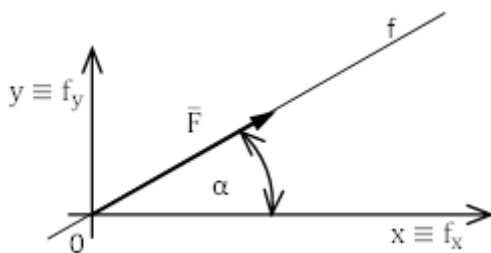


Abbildung 1.1.1

Lösung: Teilen der Kraft F , die auf der Wirkungslinie f liegt, deren Zusammensetzungen Ersatz sind durch das äquivalente Kraftsystem $\underline{F}_x, \underline{F}_y$, das auf den Wirkungslinien f_x, f_y liegt. Wenn die Wirkungslinien f_x, f_y mit den Achsen des Koordinatensystems x, y identisch sind, dann sind die Kräfte $\underline{F}_x, \underline{F}_y$ Koordinatenkomponenten der Kraft F in einem gegebenen Koordinatensystem. Die Lösung basiert auf der Vektorsubstitutionsbedingung (a), bei der die Division der Kraft F auf verschiedene Weise erfolgen kann.

$$\underline{F} = \underline{F_x} + \underline{F_y}$$

(a)

Analytische Lösung:

Lösung mittels Richtungswinkeln cosiniert α , β der F-Wirkungslinie der Kraft mit der Wirkungslinie der Kraft f_x , f_y (Bild 1.1.2)

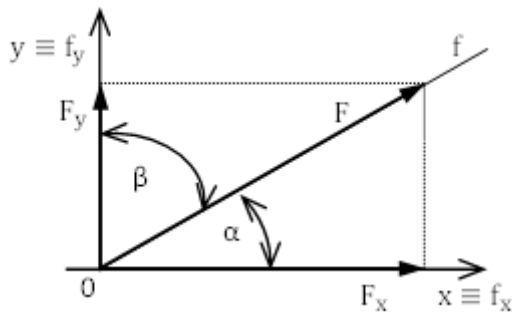
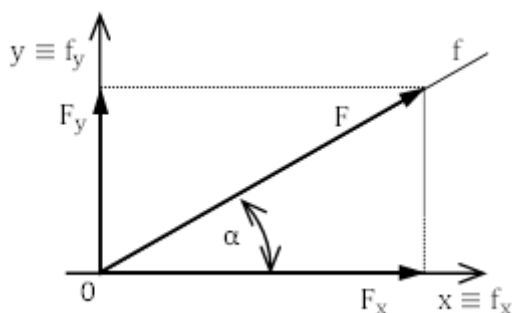


Abbildung 1.1.2

$$\begin{aligned}\beta &= 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ \\ F_x &= F \cos \alpha = 6 \cos 30^\circ = 5,196 \text{ kN} \\ F_y &= F \sin \alpha = 6 \sin 30^\circ = 3 \text{ kN}\end{aligned}$$

Eine weitere Lösung ist die Verwendung trigonometrischer Beziehungen eines rechten Dreiecks. Gemäß Abbildung 1.1.3 für die Größen F , F_x , F_y gilt das auch:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{F_x}{F} \Rightarrow F_x = F \cos \alpha = 6 \cos 30^\circ = 5,196 \text{ kN} \\ \sin \alpha &= \frac{F_y}{F} \Rightarrow F_y = F \sin \alpha = 6 \sin 30^\circ = 3 \text{ kN}\end{aligned}$$



Grafische Lösung:

Die Kraft F kann durch das Ersatzkraftsystem F_x , F_y ersetzt werden. Es handelt sich um eine grafische Summe von Kraftvektoren im sogenannten Freikörperdiagramm, wobei die Kraft F als Ergebnis von zwei gleichzeitigen Kräften mit einem gemeinsamen Angriffspunkt, die in beliebiger Reihenfolge auf ein Freikörperdiagramm angewendet wird,

eine orientierte Linie ist, die vom Ausgangspunkt der ersten Kraft ausgeht und in den Endpunkt der zweiten Kraft eintritt.

Die Lösung basiert auf Figur 1.1.4a, wo wir die bekannte Kraft F und die Parameter der gesuchten Kräfte zeichnen. Im Falle der Kräfte F_x , F_y sind ihre Wirkungslinien der Kraft bekannt. In dieser Abbildung ist es wichtig, die Vektoren der einzelnen Kräfte (ihre Richtungen) korrekt zu zeichnen. Das Freikörperdiagramm (Abbildung 1.1.4b) wird wie folgt erstellt:

Wir wenden die Kraft F parallel zur Wirkungslinie der Kraft f in entsprechend gewählten Kraftgrößen m_F an. Der Anfangs- und Endpunkt des Kraftvektors F sind parallele Linien mit Aktionslinien der Kraft f_x , die in beliebiger Reihenfolge verlaufen. Das Ergebnis ist ein geschlossenes Dreieck, dessen Beine die Größen der gesuchten Kräfte repräsentieren. Die Richtung dieser Kräfte im Freikörperdiagramm ist entgegengesetzt zur Richtung ihres resultierenden F . Durch Messen der Länge der grafischen Darstellungen der gesuchten Kräfte und deren Vergleich mit dem Kraftmaß wird die tatsächliche Größe dieser Kräfte erzeugt.

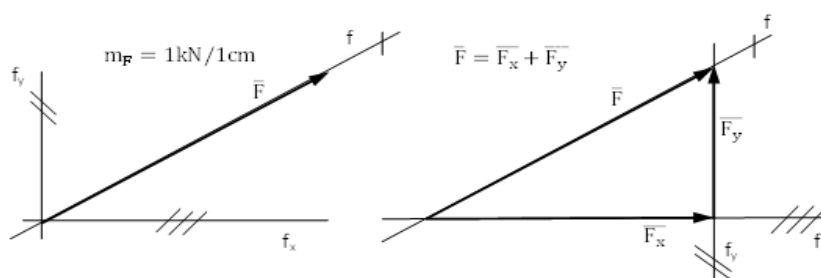


Abbildung 1.1.4

$$F_{xg} = 5,2\text{cm} \Rightarrow F_x = F_{xg}m_F = 5,2\text{kN}$$

$$F_{yg} = 3\text{cm} \Rightarrow F_y = F_{yg}m_F = 3\text{kN}$$

2. Mobilität und Verknüpfungen von materiellen Objekten

2.1. Links und Linkabhängigkeit

Kraftsysteme wirken auf bestimmte materielle Objekte (Partikel, starrer Körper, System von starren Körpern, System von Partikeln). Materialobjekte können frei in der Ebene oder im Raum platziert werden, d.h. mit unbegrenzter Bewegungsmöglichkeit, oder sie werden durch Verbindungen verbunden, die ihre Bewegungsfähigkeit einschränken. In diesen Verbindungen werden Kräfte erzeugt - so genannte Linkreaktionen.

Die Verbindungen, über die das System an einem stationären starren Körper befestigt ist - dem so genannten Rahmen - sind externe Verbindungen und die darin auftretenden Reaktionen sind externe Reaktionen (Bild 2.1).

Wenn ein mechanisches System (System aus starren Körpern, Partikeln) aus mehreren Objekten besteht, sind die Verbindungen zwischen ihnen innere Verbindungen und Reaktionen in ihnen innere Reaktionen.

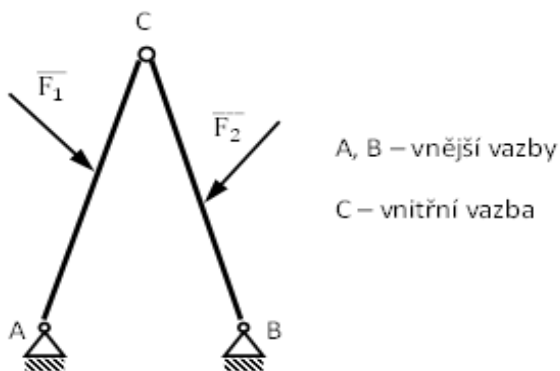


Abbildung 2.1

Die Verknüpfungen reduzieren die Mobilität von materiellen Objekten, während die einzelnen Arten von Verknüpfungen nur bestimmte Objektbewegungen verhindern können. Die Bindungsreaktionen (Sekundärkräfte), die durch die Objektbelastung durch äußere, belastende (Primär-)Kräfte induziert werden, können nur in der Richtung wirken, in der die Glieder die Bewegung verhindern können.

Wenn das Glied die Bewegung nur auf einer Seite verhindert, spricht man von einer einseitigen Bindung (oder Kraft). Figur 2.2a zeigt ein Beispiel für eine Verbindung durch einseitige Verstrebenen, Figur 2.2b zeigt ein Beispiel für eine Seilverbindung.

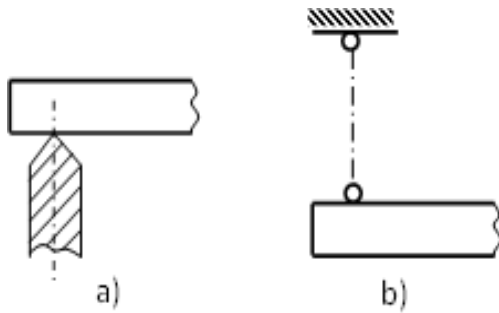


Abbildung 2.2

Wenn das Glied die Bewegung auf beiden Seiten verhindert, spricht man von einem bilateralen Glied. Abbildung 2.3a zeigt ein Beispiel für eine doppelseitige Bindung, Abbildung 2.3b zeigt ein Beispiel für unilaterale Bindung.

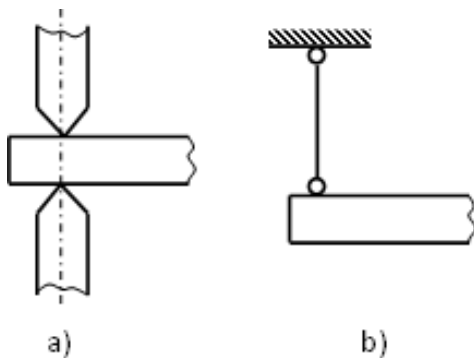


Abbildung 2.3

2.2. Grad der Bewegungsfreiheit und Verbindungsabhängigkeit von starren Körpern

Die Anzahl der Freiheitsgrade ist eine Anzahl aller unabhängigen Parameter, die die Objektposition in einer Ebene oder einem Raum bestimmen. Es drückt auch die Anzahl der möglichen Bewegungen aus, die das angegebene Objekt in einer Ebene oder einem Raum ausführen kann.

Die Mobilität oder Immobilität (kinematische Determiniertheit) eines materiellen Objekts wird anhand seiner Verbindungsabhängigkeit bewertet:

$$i = v - u$$

wobei: i - eine Anzahl von Freiheitsgraden eines materiellen Objekts ist.

v - ist eine Anzahl von Freiheitsgraden eines freien, nicht verbundenen Objekts.
 u - ist eine Reihe von Freiheitsgraden, die durch Links entfernt werden.

2.3. Kinematische und statische Bestimmtheit

Bei der Beurteilung der kinematischen Determiniertheit, d.h. der Mobilität oder Immobilität eines materiellen Objekts, wird die Linkabhängigkeit wie folgt ausgedrückt:

- $i=v-u=0$, die Aufgabe ist kinematisch bestimmt. Links reduzieren alle Bewegungsmöglichkeiten, die Position des Objekts ist vorgegeben.
- $i=v-u>0$, ist die Aufgabe kinematisch unbestimmt. Links reduzieren weniger Freiheitsgrade eines freien Objekts. Die Position eines Objekts kann sich ändern.
- $i=v-u<0$, ist die Aufgabe kinematisch überdeterminiert. Links reduzieren mehr Freiheitsgrade, ihre Position ist überdeterminiert.

Durch die Analyse der statischen Determiniertheit ist es möglich, festzustellen, ob eine ausreichende Anzahl von Bedingungen vorliegt, d.h. Gleichgewichtsbedingungen, um die unbekannt Parameter von Linkreaktionen zu bestimmen. Seit $v=r$; $u=np$ ist es wahr, dass $i=i_s$, können wir gleichzeitig sowohl die kinematische als auch die statische Bestimmtheit von Aufgaben beurteilen:

> die Aufgabe ist kinematisch unbestimmt, statisch überdeterminiert.

$i = i_s = v - u = r - n_p = 0$ die Aufgabe ist kinematisch und statisch bestimmt.

< die Aufgabe ist kinematisch überdeterminiert, statisch undefiniert.

wobei: i_s – Grad der statischen Bestimmtheit
 r – Anzahl der unabhängigen Gleichgewichtsbedingungen
 n_p – Anzahl der unbekannt Parameter der Linkreaktionen

Statisch unbestimmtes ÚLOHA kann nicht nur mit statischen Methoden gelöst werden. Solche Aufgaben werden in Bezug auf Flexibilität und Festigkeit gelöst, die andere, sogenannte Verformungsbedingungen bestimmen.

3. Partikel in der Ebene

3.1. Freiheitsgrad und Verbindungsabhängigkeit der Partikel in der Ebene

Die Position des freien Teilchens M in der durch das Koordinatensystem 0, x, y (Abbildung 2.4) bestimmten Ebene wird durch zwei unabhängige Parameter x_M , y_M bestimmt. Partikel haben somit zwei Freiheitsgrade $v=2$, d.h. sie können zwei unabhängige Bewegungen ausführen (Platzierung der Achsen x und y) und sind Linkabhängig:

$$i = v - u = 2 - u \begin{matrix} > \\ = 0 \\ < \end{matrix}$$

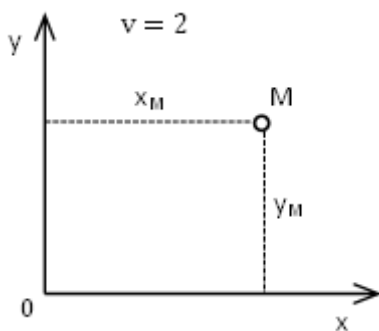


Abbildung 2.4

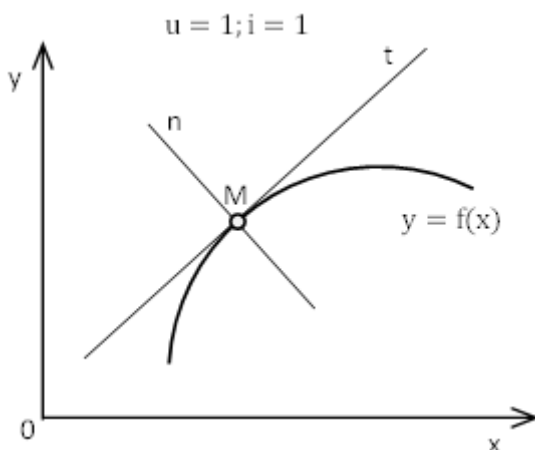


Abbildung 2.5

3.2. Verknüpfungen von Partikeln in der Ebene

Partikel in der fixen Ebene zur Kurve $y=f(x)$ können sich nur tangential bewegen (siehe Bild 2.5). Die Bewegung in Richtung des Normalen wird reduziert, daher sind die möglichen Verbindungsreaktionen bei der Partikelbelastung eine normale Reaktion. Die Position des Partikels wird durch eine Information bestimmt, z.B. durch Koordinate x_M ; [$y_M = f(x_M)$]; daher hat das mit der planaren Kurve verknüpfte Partikel mindestens einen Grad an Bewegungsfreiheit.

$$u = 1; i = 2 - u = 2 - 1 = 1$$

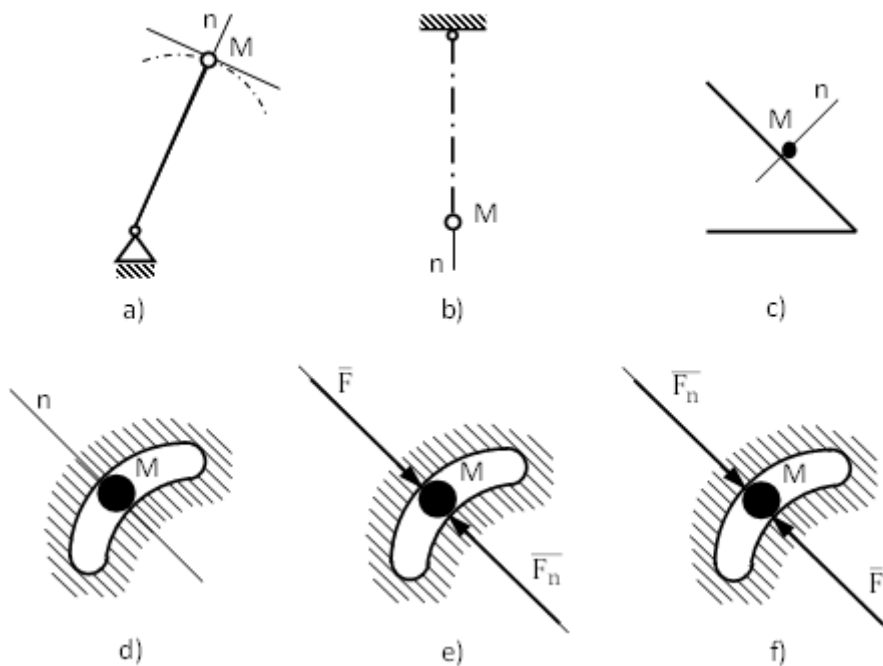
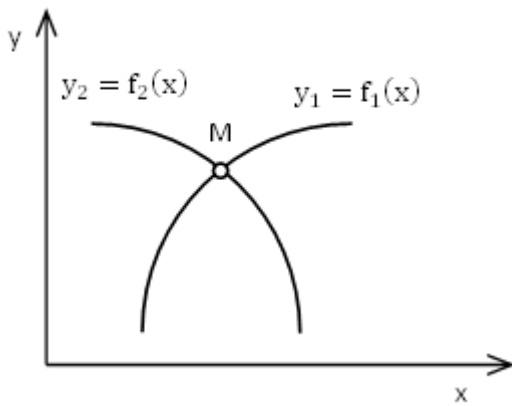


Abbildung 2.6

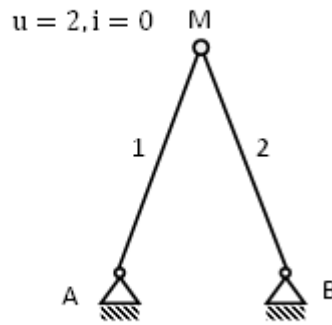
Ein Partikel kann mit einer planaren Kurve durch einen Balken (Abbildung 2.6a) oder eine Nut, z.B. Gleitstück (kámen v kulise), verbunden werden (Abbildung 2.6d). Solche VAZBY sind bilateral (erzwungen) und können eine Reaktion in beide Richtungen hervorrufen (Abbildung 2.6e,f). Seilverbindungen (Abbildung 2.6b) und lehndendes Gestänge (Abbildung 2.6c) nehmen dem Partikel in der Ebene einen Grad an Bewegungsfreiheit, jedoch nur auf einer Seite. Diese werden als einseitige (Kraft-)Verbindungen bezeichnet.

Partikel, die mit zwei Kurven gleichzeitig verbunden sind (Abbildung 2.7a), wurden mit 2 Freiheitsgraden versehen und haben keine Bewegungsmöglichkeit. Eine solche Verbindung kann z.B. durch zwei Balken realisiert werden (Bild 2.7b).

$$u = 2; i = 2 - u = 2 - 2 = 0$$



a)



b)

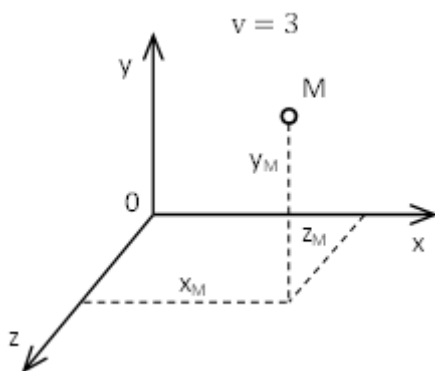
Abbildung 2.7

3.3. Partikel im Raum

3.3.1. Freiheitsgrade und Verbindungsabhängigkeit der Partikel im Raum

Die Position eines freien Teilchens M im Raum wird durch 3 Parameter bestimmt. Im orthogonalen Koordinatensystem 0, x, y, z sind dies die folgenden drei Koordinaten: x_M , y_M , z_M (Bild 2.8). Ein freies Teilchen hat drei Freiheitsgrade im Raum ($v=3$), d.h. es kann drei unabhängige Bewegungen ausführen (Bewegung in Richtung der Achse x, y, z) und seine Verbindungsabhängigkeit ist wie folgt:

$$i = v - u = 3 - u \quad \begin{matrix} > \\ = 0 \\ < \end{matrix}$$



3.3.2. Verknüpfungen von Partikeln im Raum

Ein starrer Körper im Raum kann mit der Oberfläche verbunden werden (Abbildung 2.9a), z.B. durch eine Stange oder ein Seil mit einer runden Oberfläche (Abbildung 2.9b), durch Platzieren auf einer Ebene (Abbildung 2.9c) usw. Auf diese Weise nehmen wir einen Grad an Bewegungsfreiheit in Richtung der Normalen zur Oberfläche oder in Richtung einer Stange weg.

$$u = 1, i = 3 - u = 3 - 1 = 2$$

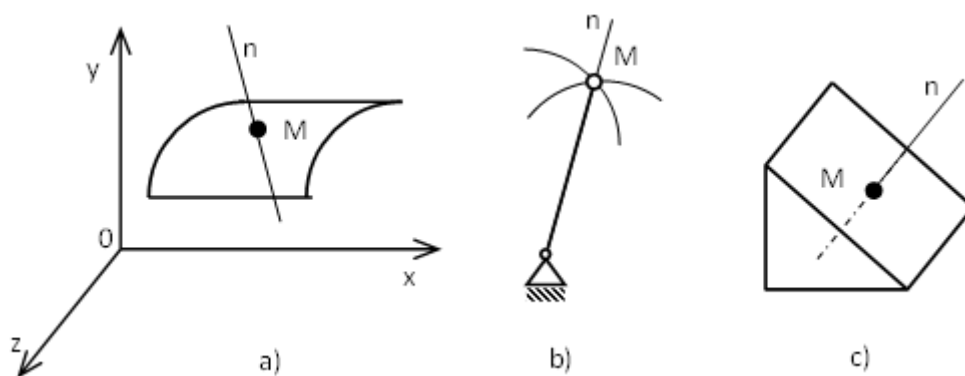


Abbildung 2.9

Wenn wir ein Partikel im Raum mit zwei Oberflächen verbinden (Abbildung 2.10a), nehmen wir zwei Freiheitsgrade der Bewegung weg. Sie ist tatsächlich im Schnittpunkt, d.h. mit der Raumkurve verbunden. Eine Realisierung dieser Verbindung erfolgt z.B. durch zwei Balken (Bild 2.10b).

$$u = 2, i = 3 - u = 3 - 2 = 1$$

Durch die Verbindung eines Teilchens mit drei Oberflächen, die sich in einem bestimmten Punkt schneiden, werden alle drei Freiheitsgrade entfernt. Dies ist z.B. die Verbindung durch drei Balken, die nicht in der gleichen Ebene liegen dürfen. Sie müssen einen sogenannten Lagerblock bilden (Bild 2.11).

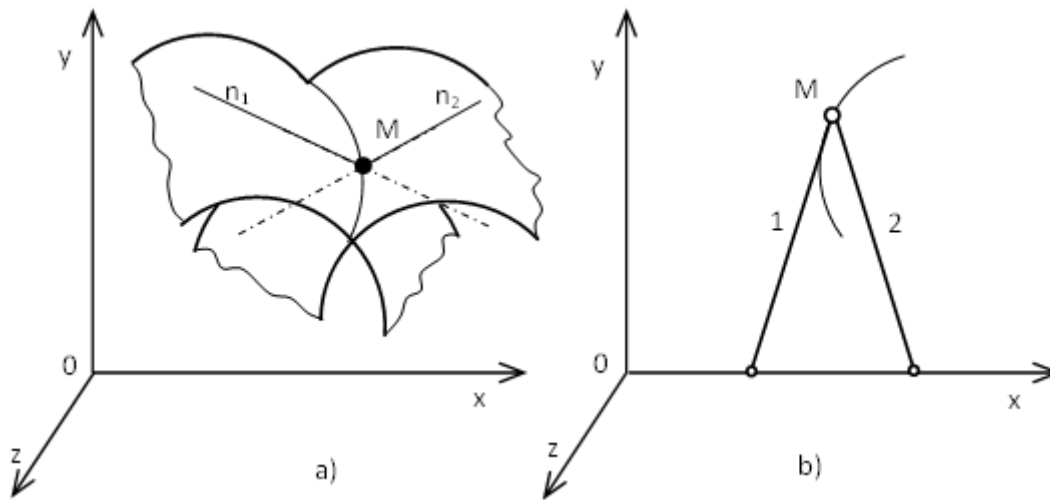


Abbildung 2.10

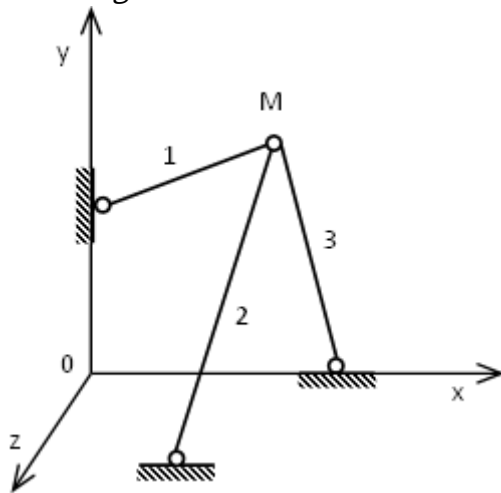


Abbildung 2.11

3.4. Steifer Körper in der Ebene

3.4.1. Freiheitsgrade des starren Körpers in der Ebene

Die Position eines Starren in der Ebene ($0, x, y$) wird durch drei Parameter bestimmt. Dies können Koordinaten des Punktes A (x_A, y_A) und des Winkels φ der Linie sein, die A und B verbindet (Abbildung 2.12), oder zwei Koordinaten des Punktes A und eine Koordinate des Punktes B. Die zweite Koordinate des Punktes B ergibt sich aus der Tatsache, dass der Abstand AB konstant ist.

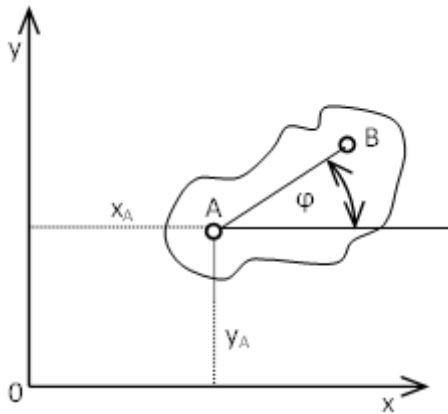


Abbildung 2.12

Ein freier Starrer in der Ebene kann drei unabhängige Bewegungen ausführen: Bewegung in Richtung der Koordinatenachsen x und y und Drehung um einen beliebigen Punkt (A oder B). Ein starrer Körper in der Ebene hat drei Freiheitsgrade der Bewegung und seine Verbindungsabhängigkeit wird wie folgt ausgedrückt:

$$i = v - u = 3 - u \quad \begin{array}{l} > \\ = 0 \\ < \end{array}$$

3.5. Verbindungen des Körpers in der Ebene

Durch die einzelnen Links ist es möglich, einen, zwei oder drei Freiheitsgrade zu entfernen. In jeder Verbindung kann je nach Art des Lastkraftsystems eine Vernetzungsreaktion auftreten.

Links, die eine gewisse Mobilität hinterlassen, werden als kinematische Paare bezeichnet. Sie können kinematische Paare der ersten ($u = 1$) oder zweiten Klasse ($u = 2$) sein.

Ein höheres, allgemeines kinematisches Paar entfernt einen Freiheitsgrad ($u = 1$).

In einer (Verknüpfung durch Lehnen) lehnt sich ein starrer Partikel mit seiner Kante an die Oberfläche eines anderen Partikels an, während die Oberflächen der starren Partikel vollkommen starr sein müssen. Die entfernte Bewegungsmöglichkeit und die mögliche Reaktion liegen im gemeinsamen Normalzustand (Abbildung 2.13a).

Ein gewisser Grad an Bewegungsfreiheit wird durch ein weiteres starres Partikel, das sogenannte Binärelement, aufgehoben. Das binäre Element dient als Verbindungsmittel zwischen einem Rahmen und einem Partikel, mit dem es durch eine Dreh- oder Schie-

beverbinding verbunden ist. Es wird nicht durch äußere Kräfte belastet, nur die Reaktion eines Teilchens und eines Rahmens, die auf dem gleichen Kraftträger liegen, wirken darauf ein, dass es von gleicher Größe und entgegengesetzter Richtung ist. Solche binären Elemente, die als Verbindungen eines Teilchens zu einem Rahmen verwendet werden, sind:

- **Gleitlager (Abbildung 2.13b)** - Gelenk auf der einen Seite, bewegliches Gestänge auf der anderen Seite. Der gemeinsame Träger muss über die Verbindung gehen. Die Verbindung muss einseitig oder bilateral sein.
- **Stange (Abbildung 2.13c)** - Gelenke auf beiden Seiten, gemeinsamer Träger ist in deren Verbindung. Die Verbindung ist beidseitig, die Stange kann gezogen oder geschoben werden (Bild 2.13d).

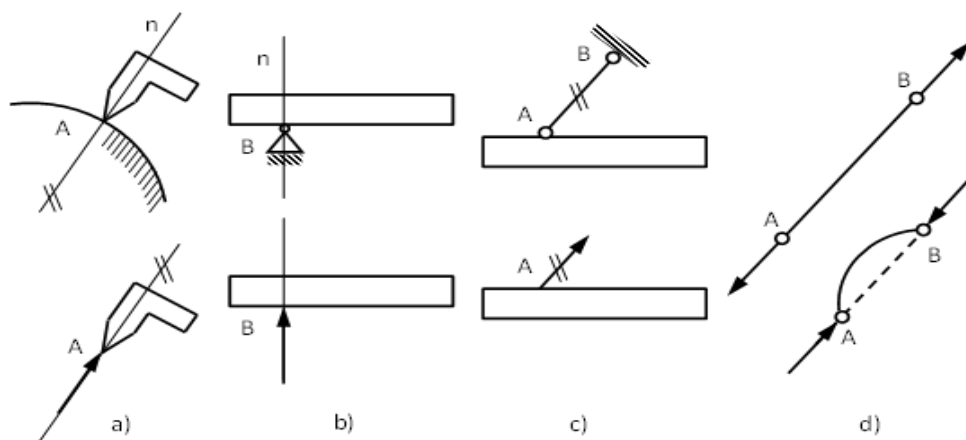


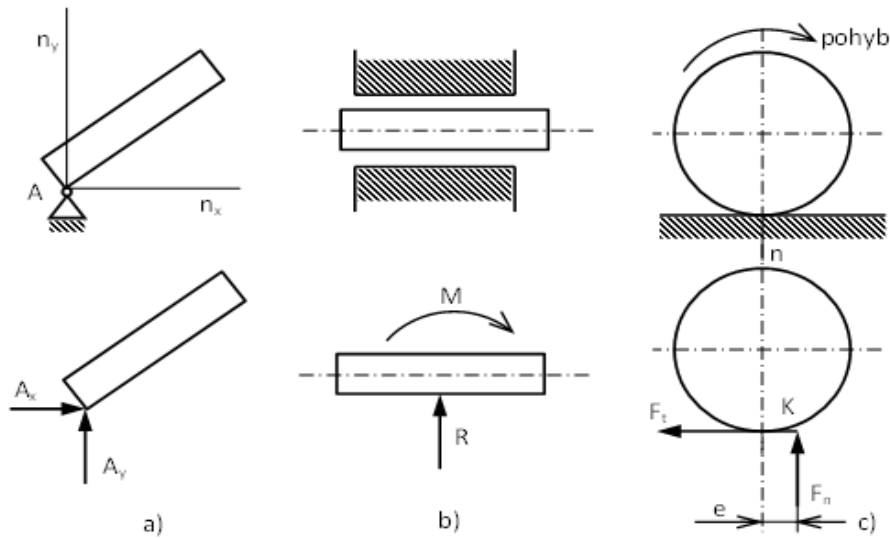
Abbildung 2.13

Untere kinematische Paare ($u = 2$) entfernen zwei Grad der Bewegungsfreiheit. Sie enthalten die folgenden Links:

- **Die Drehverbindung (Gelenk) (Abbildung 2.14a)** entfernt zwei Bewegungen in Richtung der Achsen x und y . Zwei Parameter sind unbekannt, z.B. Größe und Richtung der Reaktion. Die Verbindung gibt dem Partikel die Möglichkeit, sich um den festen Mittelpunkt der A-Rotation zu drehen.
- **Die Schieberverbindung (Abbildung)** hinterlässt eine Bewegungsmöglichkeit in eine Richtung und beseitigt eine Bewegungsmöglichkeit in eine senkrechte Richtung und die Möglichkeit der Drehung in der Ebene. Die unbekannt Parameter sind Kraft und Momentengröße.
- **Rolling Link (Abbildung)** wird durch die Reibung zwischen den Teilchen bestimmt, entfernt die Möglichkeit von zwei Bewegungen - in Richtung einer normalen und tangentialen (Reaktion F_N a F_T), ermöglicht eine scherfreie Rollbewegung, dh eine

Möglichkeit der Drehung des Teilchens.

$$u = 2, i = 3 - u = 3 - 2 = 1$$



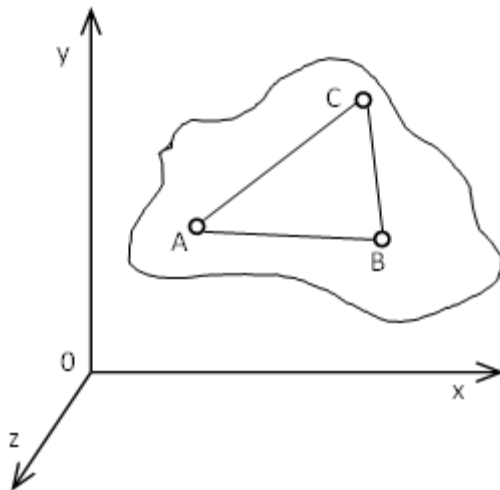
Ein Partikel kann mit anderen Partikeln starr fixiert werden, z.B. mit einem Rahmen durch eine so genannte Rückhalteeinrichtung (Bild 3.7), die alle drei Freiheitsgrade der Bewegung aus dem Partikel in der Ebene entfernt.

4. Steif im Raum

4.1. Freiheitsgrade und Verknüpfungsabhängigkeit von Partikeln im Raum

Die Position eines Starren im Raum $0, x, y, z$ wird durch sechs Parameter bestimmt. Dies können 3 Koordinaten des Punktes A, zwei Koordinaten des Punktes B und eine Koordinate des Punktes C sein (Abbildung). Andere Koordinaten der Punkte B und C sind durch feste Abstände zwischen den Punkten verbunden. Für ein Partikel im Raum ist es $v = 6$. Ein freies Teilchen im Raum hat die Möglichkeit von sechs unabhängigen Bewegungen: Bewegung in Richtung der Achsen x, y und z und Drehung um diese drei Koordinatenachsen. Es verfügt über sechs Freiheitsgrade und ist wie folgt abhängig:

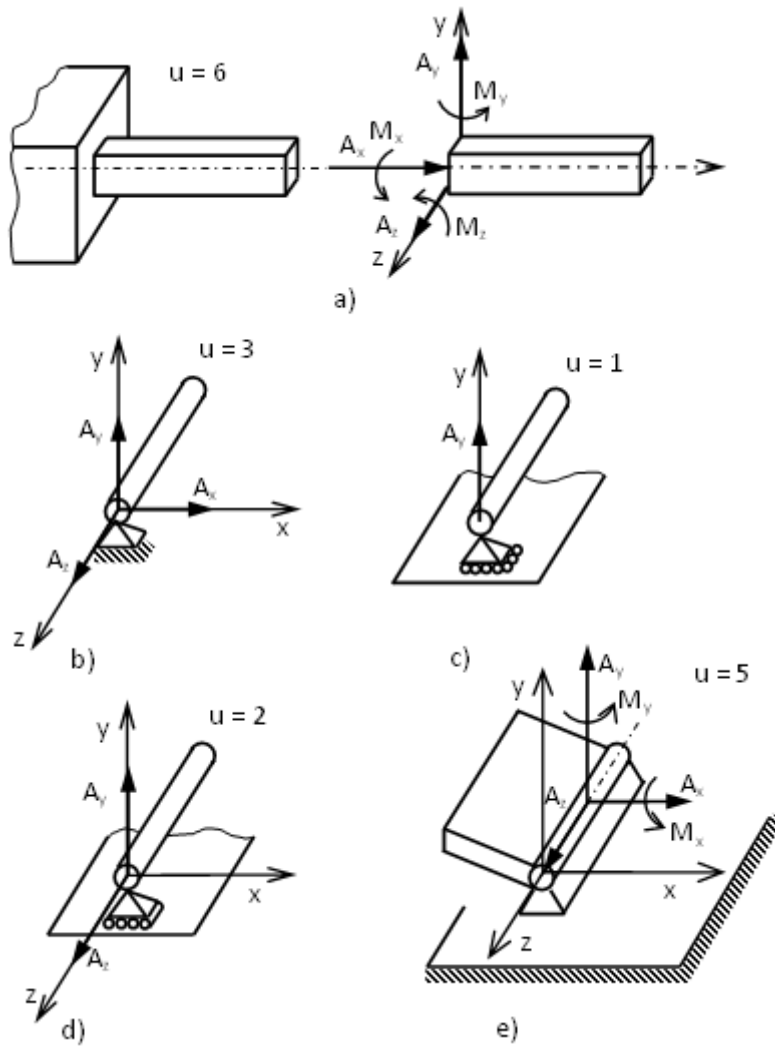
$$i = v - u = 6 - u \begin{matrix} > \\ = 0 \\ < \end{matrix}$$



4.2. Verbindungen des Körpers im Raum

- Je nach Art der Verbindung ist es möglich, 1 - 6 Grad der Bewegungsfreiheit zu entfernen. Die Abbildung zeigt einzelne Arten von Verbindungen eines Körpers im Raum mit deutlichen Veränderungen, die nach dem Laden des Körpers auftreten können:
- Ein Grad an Bewegungsfreiheit ($u = 1$) wird durch ein Gelenk durch Gleitlager auf Rollen (Bild c) und ein Gelenk durch eine Stange entfernt.
- Zwei Freiheitsgrade ($u = 2$) werden durch ein Gelenk durch Gleitlager auf Bolzen entfernt (Bild d).

- Drei Freiheitsgrade ($u = 3$) werden durch die Verbindung durch ein räumliches Gelenk entfernt (Bild b).
- Fünf Freiheitsgrade ($u = 5$) werden durch eine sogenannte Verbindung durch ein zylindrisches Gelenk entfernt (Bild e).
- Feste Verbindung - durch Rückhalteeinrichtung (Abbildung a) entfernen wir alle sechs Bewegungsfreiheitsgrade ($u = 6$).



5. Koplanare Kraftsysteme, Partikelgleichgewicht

5.1. Linearkraftsystem - LFS

5.1.1. Ersetzen des linearen Kraftsystems

Wenn alle Kräfte in einer Linie auf das gegebene Objekt wirken, können sie durch eine Kraft R (resultierend) ersetzt werden, deren Wirkungslinie identisch ist mit der Wirkungslinie aller Kräfte. Die Achse x mit einem Einheitsvektor \underline{i} stellt eine Wirkungslinie der Kraft F_i dar (Abbildung).

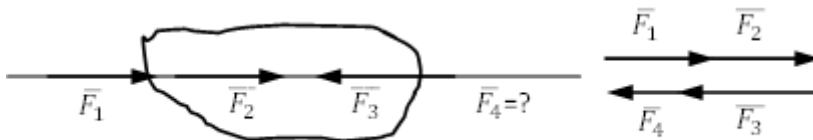


Wenn $\underline{R} = R \cdot \underline{i}$, $\underline{F}_i = F_i \cdot \underline{i}$, dann $R \cdot \underline{i} = \sum F_i \cdot \underline{i}$. Die resultierende Größe entspricht der algebraischen Summe der Kräfte $\underline{R} = \sum \underline{F}_i$.

5.2. Gleichgewicht des linearen Kraftsystems

Die Bedingung für das LFS-Gleichgewicht ist $\underline{R} = \underline{0}$, also $\sum F_i = 0$.

In der Grafik ist diese Gleichung als geschlossene, sogenannte SILOVÝ OBRAZEC gekennzeichnet (Abbildung).



In der analytischen Lösung wird die Gleichgewichtsbedingung in skalarer Form durch eine Kraft-Gleichgewichtsbedingung $R=0$ ausgedrückt, d.h. $\sum F_i = 0$.

Das LFS-Gleichgewicht kann auch unter Verwendung der Momentenbedingung zu einem beliebigen Punkt B (Abbildung) ausgedrückt werden, der nicht auf der Wirkungslinie der LFS liegt.

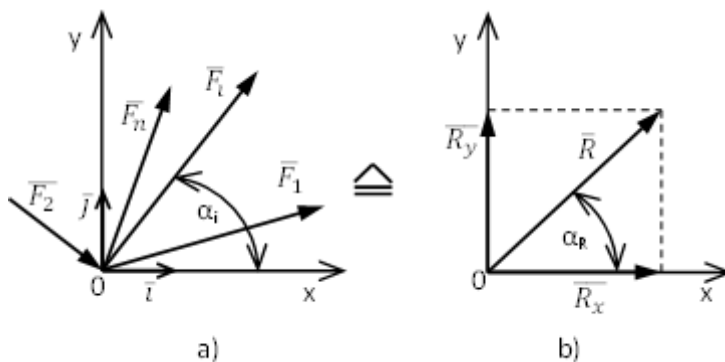
$$\sum M_{iB} = p \sum F_i = 0$$

Für das lineare Kraftsystem gibt es nur eine unabhängige statische Bedingung, d.h. aus statischen Gleichgewichtsbedingungen kann nur ein unbekannter Parameter berechnet werden.

5.3. Zentrales Flächenkraftsystem CPFS

5.3.1. Ersatz des zentralen planaren Kraftsystems

Alle Kräfte F_i des gegebenen Kraftsystems durchlaufen den Punkt 0 und liegen in einer Ebene 0, x, y (Abbildung a). Auf diese Weise kann das Kraftsystem durch das resultierende $R=S$ ersetzt werden, das durch den Punkt 0 geht (Abbildung b).

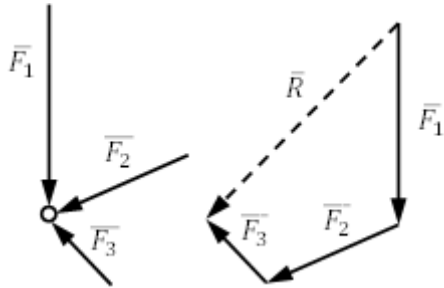


$$\underline{R} = \sum \underline{F}_i$$

- Nach der Expression der Kraftvektoren über ihre Komponenten ergibt sich $R_x \cdot \underline{i} + R_y \cdot \underline{j} = \sum F_{ix} \cdot \underline{i} + \sum F_{iy} \cdot \underline{j}$.
- Wenn wir die Gleichung $R_x \cdot \underline{i} + R_y \cdot \underline{j} = \sum F_{ix} \cdot \underline{i} + \sum F_{iy} \cdot \underline{j}$ mit den skalaren Einheitenvektoren \underline{i} und \underline{j} multiplizieren, werden die Bedingungen für das Ersetzen von CPFS durch zwei skalare Gleichungen ausgedrückt: $R_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$ und $R_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \sin \alpha_i$. Die Größe und Richtung des Ergebnisses ist also $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$, $\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}$.

In der Grafik durchläuft das resultierende \underline{R} die Mitte der Kräfte 0 (Abbildung) und wird durch ihre Vektorsumme im sogenannten Kraftmuster bestimmt.

$$\underline{R} = \sum \underline{F}_i$$
$$\underline{R} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$



6. Gleichgewichtszustand des zentralen planaren Kraftsystems

Die Gleichgewichtsbedingung ist $R=0$, also $F_i=0$.

- In der analytischen Lösung können zwei unabhängige Gleichgewichtsbedingungen entweder durch zwei Komponentengleichungen ausgedrückt werden oder die Komponentengleichungen können durch Impulse ersetzt werden (mit dem Satz Varignon's).
- Alternative: Komponentengleichungen

$$R_x = 0, \text{ that is } \sum F_{ix} = 0$$

$$R_y = 0, \text{ that is } \sum F_{iy} = 0$$

- 2. Alternative: Impulsgleichungen

$$\left(\sum M_i \right)_A = 0$$

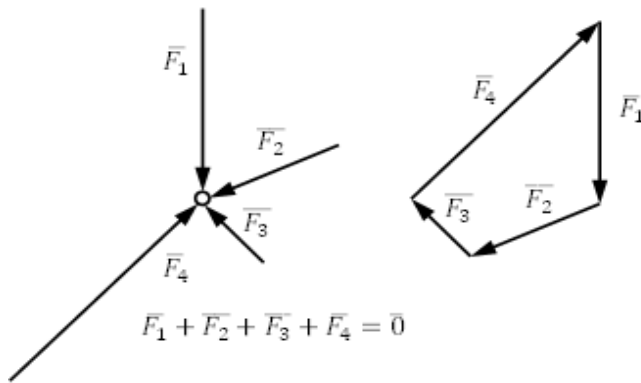
$$\left(\sum M_i \right)_B = 0$$

- Die Punkte A, B und die Mitte der Kräfte 0 dürfen nicht auf einer Linie liegen!
- Alternative 3: 1 Komponente und 1 Impulsgleichung

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\left(\sum M_i \right)_B = 0$$

- Der Punkt B darf nicht auf der Achse x liegen! Die Verbindungslinie der Mitte der Kräfte mit dem Punkt B darf nicht senkrecht zur Achse stehen, in der die Kräfte dargestellt werden.
- In der Graphenlösung (Abbildung) ist die Grundlage die Bedingung des Schließkraftmusters mit den Kräften, entsprechend der Vektorgleichgewichtsbedingung $R=0$.

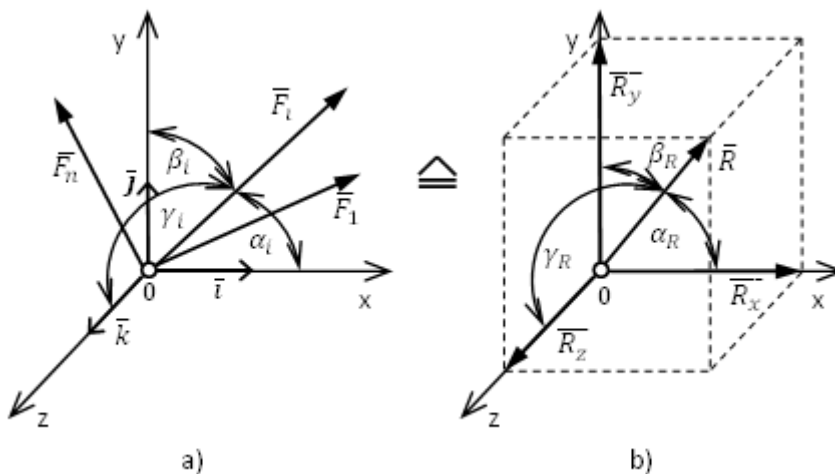


Für CPFS können nur zwei statische Bedingungen geschrieben werden, aus denen wir zwei unbekannte Parameter berechnen können.

6.1. Zentrales Raumkraftsystem - CSFS

6.1.1. Ersatz des zentralen Raumkraftsystems

An einem Punkt wirkt das zentrale Raumkraftsystem n . Jede Kraft dieses Systems wird durch ihre Größe und Richtung bestimmt (Abbildung a). Alle Kräfte können durch eine Kraft ersetzt werden, die resultierende R (Abbildung b), die durch das gemeinsame Zentrum der Kräfte hindurchgehen muss. Die daraus resultierende Kraft R ersetzt das angegebene CSFS vollständig.



In einem rechteckigen Koordinatensystem $0, x, y, z$ kann das resultierende R in die Komponenten R_x, R_y, R_z unterteilt werden (Abbildung).

$$\underline{R} = \underline{R}_x + \underline{R}_y + \underline{R}_z$$

Die Bedingungen für den Austausch von CSFS sind Beziehungen zur Bestimmung des Ergebnisses:

$$\begin{aligned} R_x &= \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i \\ R_y &= \sum F_{iy} = \sum F_i \cos \beta_i \\ R_z &= \sum F_{iz} = \sum F_i \cos \gamma_i \end{aligned}$$

Die resultierende Größe ist $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$.

Die Position des Ergebnisses wird berechnet als: $\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}$, $\cos \beta_R = \frac{R_y}{R}$, $\left(\cos \gamma_R = \frac{R_z}{R}\right)$.

6.1.2. Gleichgewicht des zentralen räumlichen Kraftsystems

CSFS wird ausgeglichen, wenn das resultierende R Null ist. (Dies bedeutet, dass der resultierende Gleit- und Rotationseffekt zu jedem Punkt im Raum gleich Null ist).

- **Alternative: Komponentengleichung**

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0 \\ \sum F_{iy} &= 0 \\ \sum F_{iz} &= 0 \end{aligned}$$

- **Alternative 2: Impulsgleichungen**

Auf der Grundlage des Varignon's Theorems können die Gleichgewichtsbedingungen auch durch Impulsgleichungen in Bezug auf beliebige Achsen im Raum ausgedrückt werden.

$$\begin{aligned} \left(\sum M_i\right)_a &= 0 \\ \left(\sum M_i\right)_b &= 0 \\ \left(\sum M_i\right)_c &= 0 \end{aligned}$$

Keine der Achsen a, b oder c kann durch das gemeinsame Zentrum des Kraftsystems verlaufen, und die Achsen a, b, c können sich nicht in einem Punkt treffen oder parallel zueinander sein.

- **Alternative 3: 2 Impulse und 1 Komponentengleichung**

$$\begin{aligned}(\Sigma M_i)_a &= 0 \\(\Sigma M_i)_b &= 0 \\ \Sigma F_{ix} &= 0\end{aligned}$$

Die Achsen a, b dürfen nicht durch die Mitte des Kraftsystems führen. Sie können sich nicht in der Ebene schneiden, die durch die Mitte des CSFS verläuft und senkrecht zur Achse x steht. Die Achsen a, b dürfen nicht parallel sein, wenn sie gleichzeitig parallel zur oben genannten Achse sind.

- **Alternative 4: 2 Komponenten und 1 Impulsgleichung**

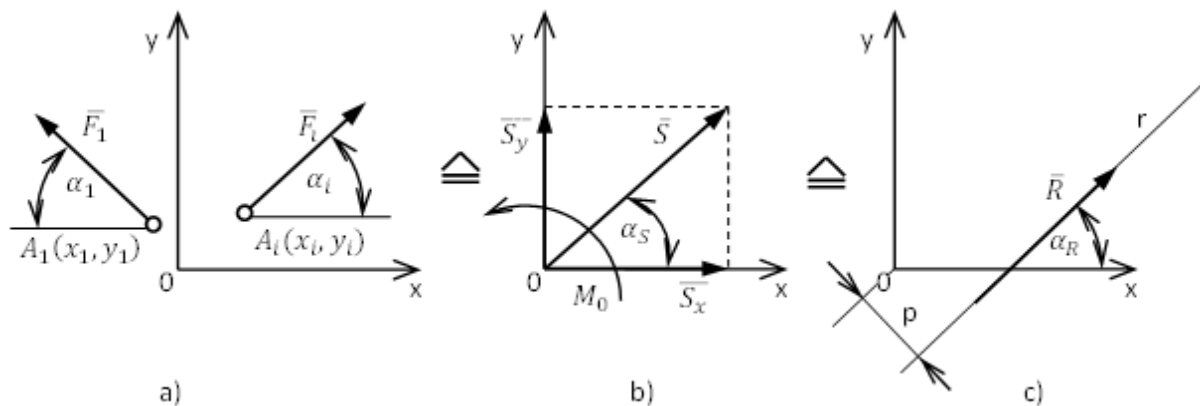
$$\begin{aligned}\Sigma F_{ix} &= 0 \\ \Sigma F_{iy} &= 0 \\ (\Sigma M_i)_a &= 0\end{aligned}$$

Die Achse a kann nicht durch die Mitte des CSFS verlaufen und darf nicht senkrecht zu dem durch die Achsen x, y bestimmten Raum stehen

Wie in der Ebene, im Raum in Bezug auf die analytische Lösung gehen wir immer von der Orientierung unbekannter Kräfte aus. Wenn das Ergebnis positiv (+) ist, war die angenommene Ausrichtung / Richtung richtig, wenn es negativ (-) ist, ist die tatsächliche Ausrichtung der Kraft entgegengesetzt zur angenommenen.

7. Allgemeine Kraftsysteme. Parallele Kraftsysteme. Gleichgewicht der starren Körper.

7.1. Allgemeines planares Kraftsystem. Analytische Lösung



Das allgemeine planare Kraftsystem besteht aus Kräften, die in der Ebene verteilt sind (z.B. in der Ebene x, y dargestellt in Figur a). Die Wirkung jeder Kraft F am Anfang eines Koordinatensystems $0, x, y$ ist sowohl gleitend F_i als auch drehend M_{i0} . Die resultierende Gleit- und Dreheffekt des Kraftsystems zum Ausgangspunkt in Punkt 0 ist (Abbildung):

$$\underline{S} = \sum F_i$$

$$\underline{M}_0 = \sum M_{i0}$$

Es kann folgende Fälle geben:

$\underline{S} \neq \underline{0}, \underline{M}_0 \neq \underline{0}$ - das resultierende System ist R - nicht über den Punkt 0 hinaus.

$\underline{S} \neq \underline{0}, \underline{M}_0 = \underline{0}$ - das resultierende System ist R - durch den Punkt 0 hindurch.

$\underline{S} = \underline{0}, \underline{M}_0 \neq \underline{0}$ - das System wird durch ein Kraftpaar in der Ebene x, y ersetzt.

$\underline{S} = \underline{0}, \underline{M}_0 = \underline{0}$ - Bedingungen für das GPFS-Gleichgewicht

7.2. Ersetzen von GPFS am ausgewählten Startpunkt

Die Größe des Impulses M_{i0} wird durch den Varignon-Satz ausgedrückt (Abbildung a).

$$M_{i0} = x_i F_{iy} - y_i F_{ix}$$

GPFS am gewählten Startpunkt \acute{e} (Abbildung b) kann durch drei skalare Gleichungen ersetzt werden:

$$S_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$$

$$S_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \sin \alpha_i$$

$$M_0 = \sum M_{i0} = \sum (x_i F_{iy} - y_i F_{ix}) = \sum F_i (x_i \sin \alpha_i - y_i \cos \alpha_i) = \sum F_i p_i$$

7.3. Ersetzen von GPFS durch ein Ergebnis

S und M_0 wird durch das resultierende R ersetzt, wobei $R=S$ und $S=R$ vom Startpunkt O um den Abstand p verschoben sind (Abbildung c). Die Größe der resultierenden Größe wird wie folgt berechnet:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \text{ wobei}$$

$$R_x = S_x = \sum F_{ix}$$

$$R_y = S_y = \sum F_{iy}$$

Der Winkel R und die Position p werden wie folgt berechnet

$$\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}, p = \frac{M_0}{R}$$

7.4. GPFS Gleichgewichtsbedingungen

Die Gleichgewichtsbedingungen $S=0$, $M_0=0$ werden durch drei Gleichgewichtsskalargleichungen bestimmt:

- **Alternative: 2 Komponentengleichungen, 1 Impulsgleichung**

$$R_x = 0, \quad \sum F_{ix} = 0$$

$$R_y = 0, \quad \Rightarrow \quad \sum F_{iy} = 0$$

$$M_0 = 0, \quad \sum M_{i0} = 0$$

- **Alternative 2: 3 Impulsgleichungen**

$$\left(\sum M_i\right)_A = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_B = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_C = 0$$

Die Punkte A, B, C dürfen nicht in einer Linie liegen, da diese Linie als Ergebnis wirken könnte und die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt wären.

- **Alternative 3: 2 Impulse und 1 Komponentengleichung**

$$\left(\sum M_i\right)_A = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_B = 0$$

$$\sum F_{ix} = 0$$

Die Verbindungslinie der Punkte A, B darf nicht senkrecht zur Achse x stehen (zur Achse, in deren Richtung wir die Kraftformel schreiben), sonst könnte das Ergebnis auf dieser Linie liegen und die Gleichgewichtsbedingungen würden erfüllt sein.

8. Allgemeines Raumkraftsystem

Das allgemeine räumliche Kraftsystem besteht aus Kräften, die zufällig im Raum verteilt sind. Es ist die allgemeinste Art von Kraftsystem, für die es gilt:

$$\underline{S} \neq 0, \underline{M}_0 \neq 0, \underline{S} \cdot \underline{M}_0 \neq 0$$

Wenn S und M0 im Allgemeinen nicht senkrecht zueinander stehen, kann die GSFS nicht durch ein Ergebnis ersetzt werden.

8.1. GSFS am gewählten Startpunkt ersetzen

Wenn eine bestimmte GSFS am ausgewählten Startpunkt 0, (Abbildung a), die Wirkung der i-ten Kraft am Punkt 0 ist

- Gleiten - F_i
- Rotation $\underline{M}_{i0} = \underline{r}_i \times \underline{F}_i$

Die resultierende Wirkung aller Kräfte im gegebenen Kraftsystem am Punkt 0 beträgt

- Gleiten (Abbildung b) $\underline{S} = \sum \underline{F}_i$
- Rotation (Abbildung c) $\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0}$

$$\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0} = \sum \underline{r}_i \times \underline{F}_i = \sum \begin{vmatrix} \underline{i} & \underline{j} & \underline{k} \\ x_i & y_i & z_i \\ F_{ix} & F_{iy} & F_{iz} \end{vmatrix}$$

Größe und Richtung des Gleit- und Rotationseffekts

$$\underline{S} = \underline{S}_x + \underline{S}_y + \underline{S}_z = S_x \cdot \underline{i} + S_y \cdot \underline{j} + S_z \cdot \underline{k}$$

$$\underline{M}_0 = \underline{M}_x + \underline{M}_y + \underline{M}_z = M_x \cdot \underline{i} + M_y \cdot \underline{j} + M_z \cdot \underline{k}$$

Die Wirkung der GSFS auf Punkt 0 wird durch sechs Gleichungen ausgedrückt

$$S_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$$

$$S_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \cos \beta_i$$

$$S_z = \sum F_{iz} = \sum F_i \cos \gamma_i$$

$$M_x = \sum M_{ix} = \sum (y_i F_{iz} - z_i F_{iy})$$

$$M_y = \sum M_{iy} = \sum (z_i F_{ix} - x_i F_{iz})$$

$$M_z = \sum M_{iz} = \sum (x_i F_{iy} - y_i F_{ix})$$

Größe und Position des resultierenden Gleiteffektes S (Abbildung d) werden wie folgt berechnet:

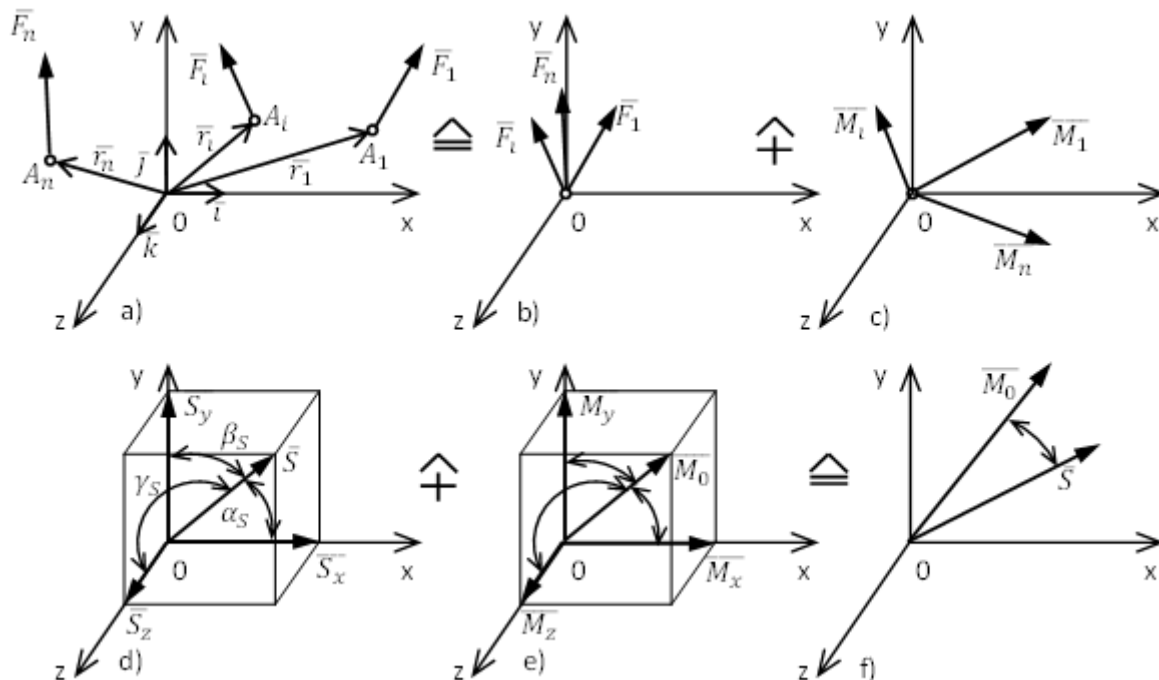
$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$$

$$\cos \cos \alpha_S = \frac{S_x}{S}, \cos \cos \beta_S = \frac{S_y}{S}, \left(\cos \cos \gamma_S = \frac{S_z}{S} \right)$$

Größe und Position des resultierenden Rotationseffekts M_0 (Abbildung e) ist:

$$M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

$$\cos \cos \alpha_M = \frac{M_x}{M_0}, \cos \cos \beta_M = \frac{M_y}{M_0}, \left(\cos \cos \gamma_M = \frac{M_z}{M_0} \right)$$



Der Winkel φ (Abbildung f) kann mit Hilfe eines skalaren Produkts bestimmt werden.

$$\underline{S} \cdot \underline{M}_0 = S M_0 \cos \cos \varphi$$

wobei

$$\cos \cos \varphi = \frac{S M_0}{S M_0}$$

8.2. GSFS Gleichgewichtsbedingungen

Die Bedingungen für ein allgemeines räumliches Kräftegleichgewicht sind die folgenden:

$$\underline{S} = 0, \underline{M}_0 = 0, \text{ tj.}$$

$$\Sigma \underline{F}_i = \underline{0}, \Sigma \underline{M}_{i0} = \underline{0}$$

Skalare Form: sechs Gleichgewichtsgleichungen:

- Alternative 1: drei Kraft- und drei Impulsgleichungen, die in Koordinatensysteme geschrieben werden.

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$\sum F_{iz} = 0$$

$$\sum M_{ix} = 0$$

$$\sum M_{iy} = 0$$

$$\sum M_{iz} = 0$$

Wie in den vorherigen Kapiteln können Paare durch Impulsgleichungen zu anderen Zufallsachsen ersetzt werden, aber die Impulsgleichungen können nicht durch andere Kraftgleichungen ersetzt werden. Es müssen mindestens drei Impulsgleichungen zu drei verschiedenen Zufallsachsen vorhanden sein. Auf diese Weise können wir andere Alternativen finden, um Gleichgewichtsbedingungen auszudrücken.

- Alternative 2: 2 Kraft- und 4 Impulsgleichungen
- Alternative 3: 1 Kraft- und 5 Impulsgleichungen
- Alternative 4: 6 Impulsgleichungen zu den Achsen o1 - o6

Die Achsen o1 - o6 (muss nicht die Achsen x, y, z beinhalten) dürfen nicht parallel sein und dürfen nicht von einer Linie geschnitten werden.

9. Statische Analyse des Körpersystems

Ein System von Körpern ist eine Struktur, die aus mindestens zwei Körpern neben einem Rahmen besteht. Die einzelnen Körper eines Systems sind miteinander und mit dem Rahmen verbunden. Die Bindungen, die die einzelnen Körper mit dem Rahmen verbunden haben, sind externe Links, die Verbindungen zwischen den Körpern werden interne Links genannt. Je nach Art der gegenseitigen Verbindungen gibt es Systeme mit unterschiedlicher Beweglichkeit und unterschiedlichem Bewegungscharakter der einzelnen Körper. Nach charakteristischen Eigenschaften werden die Körpersysteme in planare und räumliche, bewegliche und unbewegliche, kinematisch und statisch bestimmte und unbewegliche Systeme unterteilt.

9.1. Kinematische und statische Bestimmung von planaren Mehrkörpersystemen

Die kinematische Bestimmung (Mobilität) von Mehrkörpersystemen wird mittels Opp-lungsabhängigkeit bewertet. Der Prozess ist analog zur Bestimmung der Körperbeweglichkeit.

Die Verbindung zweier Körper wird als kinematisches Paar bezeichnet. Bei planaren Mehrkörpersystemen werden kinematische Paare durch die Struktur in Rotation, Gleiten und Rollen unterteilt, die zwei Freiheitsgrade beseitigen und allgemein einen Freiheitsgrad beseitigen.

Besteht ein System aus n Körpern, aus denen einer angepasst, d.h. zu einem Rahmen angelegt wurde, haben die Körper vor ihrer Verknüpfung eine

$$v = 3(n - 1) = 3n$$

Grad der Bewegungsfreiheit, wobei $n = n' - 1$ neben einem Rahmen eine Anzahl von Körpern ist. Wenn das System neben " n " Körpern auch " m "-Teilchen enthält, wird die Anzahl der Freiheitsgrade eines solchen Systems vor der Verknüpfung wie folgt berechnet

$$v = 2m + 3n.$$

Die gesamte kinematische Determiniertheit eines Systems wird durch die Verknüpfungsabhängigkeitsformel bewertet.

$$i = v - u_{internal} - u_{external}$$

- u_{intern} - Anzahl der Freiheitsgrade, die durch interne Links entfernt werden.

- u_{external} - Anzahl der Freiheitsgrade, die durch externe Links entfernt werden.

Bei der Analyse der kinematischen Determiniertheit eines Systems wird sowohl die interne als auch die externe Determiniertheit analysiert, wobei die folgenden Situationen auftreten können:

- Die gesamte kinematische Determinanz wird in Bezug auf interne und externe Links bewertet, wobei die resultierende Anzahl der Freiheitsgrade der Systembewegung durch die Beziehung

> insgesamt kinematisch unbestimmt

$$i_c = v - u_{\text{internal}} - u_{\text{external}} = 0 \text{ insgesamt kinematisch determiniert}$$

< insgesamt kinematisch überdeterminiert

- Bei der Analyse der internen kinematischen Determinierung werden nur die internen Verbindungen berücksichtigt, d.h. die Verbindungen zwischen den Körpern des Systems. Sie wird durch die Abhängigkeit der Verknüpfung bestimmt.

> intern kinematisch unbestimmt

$$i_c = v - u_{\text{internal}} - v_{ST} = 0 \text{ intern kinematisch determiniert}$$

< intern kinematisch überdeterminiert

Wobei:

u_{internal} - Anzahl der durch interne Links entfernten Freizügigkeitsgrade

v_{ST} - Anzahl der Freiheitsgrade einer Systembewegung, die als ein einziger starrer Körper zu einem Rahmen betrachtet wird. Für ein System, das als ein einzelner Körper in der Ebene betrachtet wird, $v_{ST} = 3$.

- Bei der Analyse der externen kinematischen Determinante werden nur die externen Links berücksichtigt, die das System an den Rahmen binden, und das System gilt als ein starrer Körper. Sie wird durch die Abhängigkeit der Verknüpfung bestimmt.

> extern kinematisch unbestimmt

$$i_c = v_{ST} - u_{\text{external}} = 0 \text{ extern kinematisch determiniert}$$

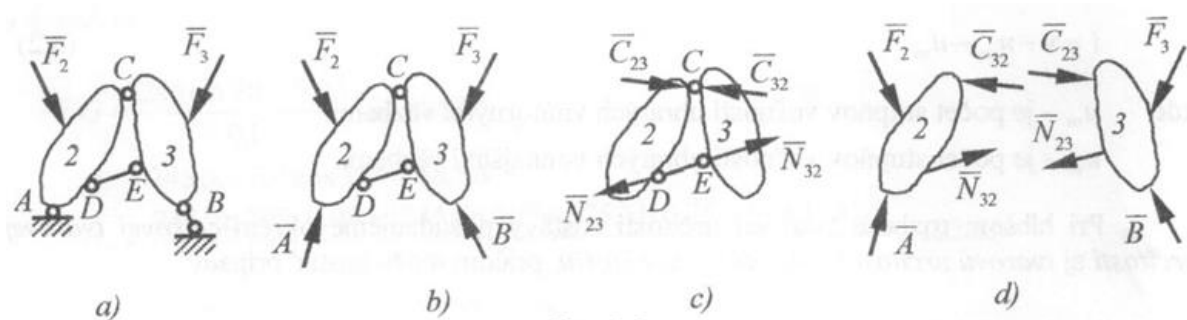
< extern kinematisch überdeterminiert

Ein kinematisch bestimmtes System kann intern kinematisch unbestimmt x -fach sein, muss aber gleichzeitig extern k -fach kinematisch überbestimmt sein.

9.2. Prinzip der statischen Lösung von Mehrkörpersystemen

Die statische Lösung von Mehrkörpersystemen basiert auf dem Theorem des Kräftegleichgewichts. Bezogen auf die Kräfte, die auf ein Mehrkörpersystem (Abbildung a) in seinem Gleichgewicht einwirken, kann man das sagen:

- Alle äußeren Kräfte (Last und Reaktion), die auf einen Körper in einem System wirken, sind ausgeglichen (Abbildung b).
- In Bezug auf das Wirkungs- und Reaktionsaxiom in jedem Glied sind alle Schnittgrößen ausgeglichen (Abbildung c).
- Die einzelnen Kraftsysteme, bestehend aus allen Kräften, die auf jeden Körper oder eine beliebige Gruppe von Körpern einwirken, sind ausgewogen (Abbildung d).

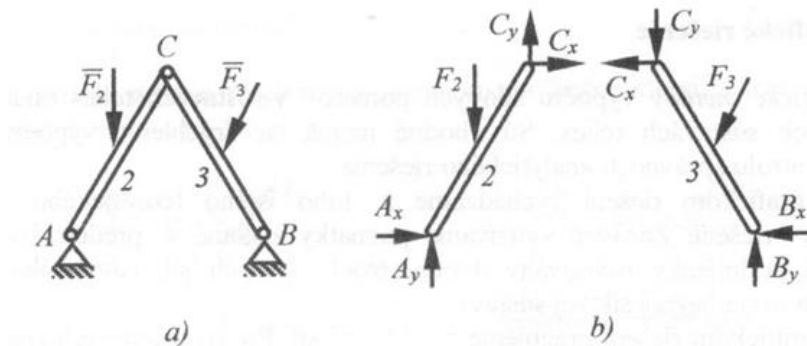


9.3. Analytische (rechnerische) Lösung von Mehrkörpersystemen

Die grundlegende Methode der statischen Lösung von Systemen ist eine Freigabemethode. Das Verfahren besteht darin, die einzelnen Körper im System (Stabsätze oder das gesamte System) freizugeben und die entsprechenden Gleichgewichtsbedingungen zu bestimmen. Besteht das System aus n -Körpern ohne Rahmen und m -Teilchen, hängt das Gleichgewicht von $r=3n+2m$ unabhängigen Gleichgewichtsgleichungen ab, aus denen bei statisch bestimmter Aufgabe die gleiche Anzahl von unbekanntem Parametern von Reaktionen und Zusatzkräften berechnet werden kann.

Für externe Kräfte, die auf ein System von Körpern wirken, und für Kräfte, die auf eine

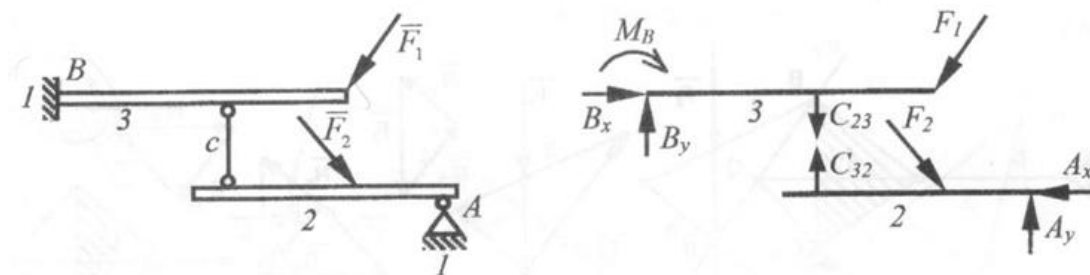
bestimmte Gruppe von Körpern im System wirken, gibt es drei Gleichgewichtsbedingungen. So sind beispielsweise für Berechnungen oder Reaktionen $A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y$ 3 und 3 Gleichgewichtsgleichungen für die freigegebenen Körper 2 und 3 (Abbildung b) des Mehrkörpersystems aus Abbildung a verfügbar.



Mehrkörpersysteme lassen sich hinsichtlich ihrer Löslichkeit in einfache und komplexe Systeme unterteilen.

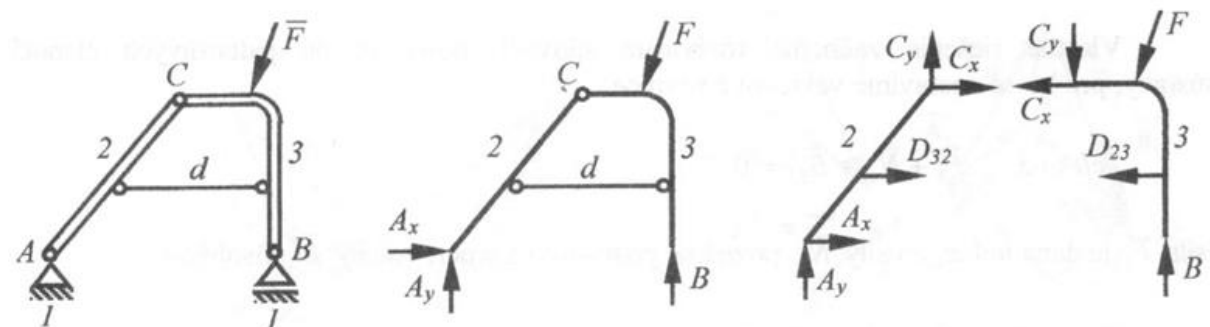
Einfache Systeme

- Mit $i_{\text{external}} \neq 0$ kann durch schrittweise Lösung des Gleichgewichts seiner Mitglieder gelöst werden (Abbildung).



Basierend auf dem Körper 2 Gleichgewicht, $A_x, A_y, C_{32} = C_{23}$ wird bestimmt; basierend auf dem Körper 3 Gleichgewicht, kann B_x, B_y, M_B berechnet werden.

- Im Falle von $i_{\text{external}} = 0$ kann das System als Ganzes und anschließend die einzelnen Elemente gelöst werden.



- Einfache Systeme beinhalten Systeme mit Dreigelenkbögen.

Komplexe Systeme sind solche, die nicht direkt gelöst werden können und keine Dreigelenkbögen enthalten.

10. Planare Stangensysteme

Ein spezifischer Fall von starren Mehrkörpersystemen sind so genannte Fachwerkkonstruktionen, denen wir in verschiedenen Bauwerken wie Brücken, Masten, Kränen, Dachkonstruktionen begegnen.

Je nach räumlicher Anordnung der Struktur und der Art des äußeren Kraftsystems werden Fachwerkkonstruktionen in räumliche und planare unterteilt.

Die Last von Fachwerkträgern kann an einem Punkt (Last, die von einem Kran angehoben wird) oder kontinuierlich (Gewicht einer Straße, Gewicht der Konstruktion selbst) konzentriert werden. In einigen Fällen ist die Wirkung der äußeren Last dauerhaft, während sie sich manchmal mit der Zeit ändert.

Zur Lösung von Fachwerkkonstruktionen ist es notwendig, ein geeignetes statisches Berechnungsmodell unter Berücksichtigung der folgenden Vereinfachungsannahmen zu erstellen:

- Fachwerkkonstruktionselemente können als eindimensionale Körper betrachtet werden, die durch zwei Verbindungen an der Struktur befestigt sind. Diese werden als binäre Körper bezeichnet.
- Die Verknüpfung aller binären Körper gilt als artikuliert. Dies ist auch bei Niet- oder Schweißverbindungen möglich, wenn die verbundenen Elemente nicht zu kurz sind. Bedingung ist die Anordnung der Elemente in einzelnen Gelenken, so dass sich die Achsen der in einem Gelenk verbundenen Schwerpunkte an einem Punkt schneiden (genannter Knotenpunkt).
- Die Strukturbelastung wird nur in Knotenpunkten berücksichtigt. Die Dauerbelastung der Strukturelemente konzentriert sich auf zwei Verbindungen, die das Element mit der Struktur verbinden.

Ein solches Berechnungsmodell wird als Stabsystem bezeichnet. Es handelt sich um ein System von unbelasteten Körpern - Stangen, die in Verbindungen verbunden sind und in den Verbindungen belastet werden. Bei einer solchen Belastung werden nur Axialkräfte erzeugt (Anspannung oder Druck). Bar-Systeme können räumlich oder planarisch sein.

10.1. Kinematische Determinierung von Stangensystemen

Das Stangensystem wird als ein System von Partikeln bewertet, die durch Stangen miteinander verbunden sind. Ein Stangensystem kann ein Ganzes sein, das als Stangenkörper bezeichnet wird.

Die kinematische Determiniertheit eines Stabkörpers, d.h. die externe kinematische Determiniertheit des planaren Stabsystems, wird gemäß der für einen Körper in einer Ebene gültigen Kopplungsabhängigkeit bewertet.

$$i_{external} = 3 - u_{external}$$

Die interne kinematische Determinante eines Stangensystems wird nach folgenden Kriterien bewertet

$i_{internal} = 2s - p$	$>$	intern kinematisch unbestimmt
	$=$	intern kinematisch determiniert
	$<$	intern kinematisch überdeterminiert

wobei

s - Anzahl der Verbindungen

p - Anzahl der Balken

3 - für beide Beziehungen die Anzahl der Freiheitsgrade eines Stabkörpers

2 - Anzahl der Freiheitsgrade eines freien Teilchens in einer Ebene

Kinematische Gesamtdeterminanz eines Stangensystems

$i_c = 2s - p - u_{vor}$, if $i_c = 0$ - das System ist kinematisch und statisch bestimmt.

10.2. Statische Lösung von Stangensystemen

Das Ziel der statischen Lösung von Stangensystemen ist es, die Größe der Axialkräfte in den Stangen, ihre Ausrichtung und unbekannte Parameter der äußeren Reaktion in Abhängigkeit von der äußeren Belastungskraft zu bestimmen. Dies könnte durch mehrere Methoden erreicht werden.

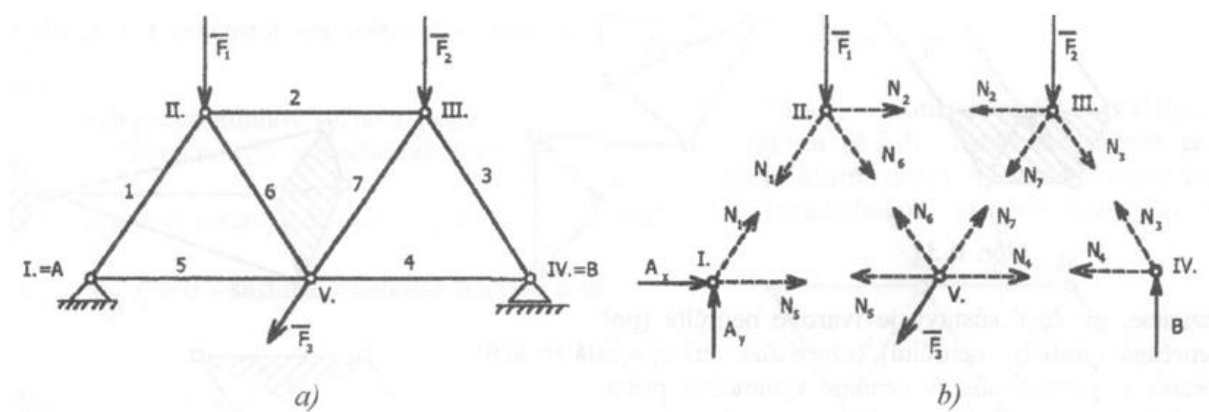
- Gleichgewicht der Zentralkraftsysteme, das nur auf die einzelnen Gelenke wirkt (Verfahren der Knotenpunkte).
- Gleichgewicht der Kräfte, die auf einen Teil eines Stangensystems wirken (Verfahren der Abschnitte)

10.3. Nodalpunktverfahren

Das Prinzip des Verfahrens besteht darin, das Gleichgewicht aller Kräfte, die auf jede

Verbindungen wirken, getrennt zu lösen. Während der allmählichen Freigabe aller Gelenke werden die Gleichgewichtsbedingungen des auf jedes Gelenk wirkenden zentralen Kraftsystems bestimmt.

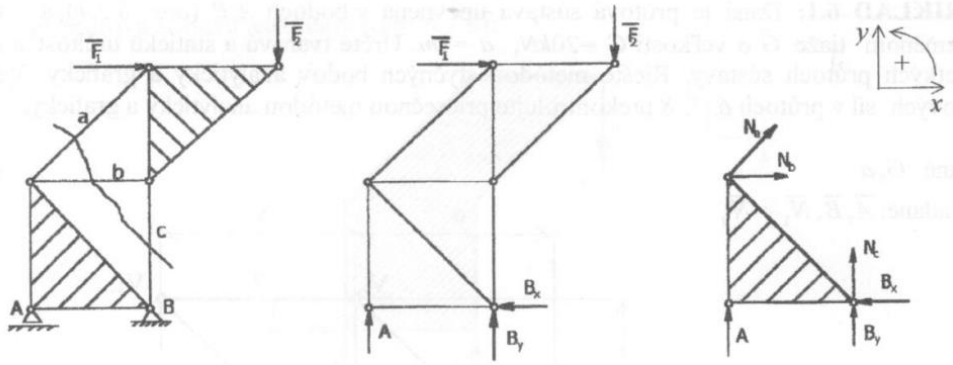
Für den Fall, dass das System als Ganzes (Systemkörper) kinematisch und statisch bestimmt ist, ermöglicht das Lösen des Gleichgewichts der äußeren Kräfte (zur Berechnung externer Reaktionen) die Gesamtlösung von Gleichgewichtsgleichungen für einzelne Gelenke.



10.4. Verfahren der Abschnitte

Die abschnittsweise Lösung von Axialkräften basiert auf folgender Annahme: Wenn das Stangensystem ausgewuchtet ist, müssen die auf jeden Schnittteil des Stangensystems wirkenden Kräfte ausgeglichen werden. Das Gleichgewicht dieses Teils kann in der Ebene oder im Raum gelöst werden. Für einen Körper in einer Ebene (Raum) können 3 (6) unabhängige statische Gleichgewichtsbedingungen vorliegen, mit denen es möglich ist, 3 (6) unbekannte Axialkräfte zu bestimmen. Daraus folgt, dass es bei dieser Methode notwendig ist, das Stangensystem durch imaginären Schnitt über drei (6 im Raum) Stangen zu teilen, die sich nicht an einem Punkt schneiden.

Aus dem Gleichgewicht eines dieser Teile ist es möglich, Axialkräfte in geschnittenen Stangen zu berechnen. Wenn jedes der abgeschnittenen Teile einer Belastungskraft und Reaktion ausgesetzt ist, muss diese Reaktion zunächst aus dem Gleichgewicht des Stabkörpers bestimmt werden.



11. Schwerpunkt der physikalischen und geometrischen Objekte

Schwerpunkt eines parallelen Kraftsystems mit Kräften, die mit einem Punkt verbunden sind, durch den das resultierende Kraftsystem beim Drehen des Systems um einen beliebigen Winkel verläuft. Sind die Parallelkräfte die Erdschwerkraft (die Schwerkraft einzelner Körperteile), wird der Schwerpunkt dieses Kraftsystems als Schwerpunkt bezeichnet.

Die Lage des Schwerpunktes kann analytisch, grafisch und experimentell bestimmt werden. Im Falle der analytischen und grafischen Lösung ist die Bedingung die bekannte Gewichtsverteilung im Körper, während sich die grafischen Lösungen hauptsächlich auf den planaren oder symmetrischen Raumkörper konzentrieren. Die experimentelle Bestimmung der Schwerpunktlage wird vor allem bei komplexen Formen und inhomogenen Körpern eingesetzt.

Analytische Identifizierung der Schwerpunktlage

Die Elementarkraft $dG = \rho dV g$ wirkt auf das Volumenelement dV eines Körpers mit einem Gewicht, während g eine Größe der Gravitationsbeschleunigung ist. Für die x-Koordinate des Schwerpunktes gilt, dass

$$x_T = \frac{\int_V x \rho dV g}{\int_V \rho dV g} = \frac{\int_V x \rho dV}{\int_V \rho dV}$$

während das V-Volumen vollständig integriert ist. Eine ähnliche Gleichung gilt für y_T und z_T . Für die Berechnung von Integralen müssen wir die Verteilung der Dichte ρ im Körper kennen, also die Funktion $\rho = \rho(x, y, z)$.

Im Falle einer homogenen Körperdichte ist das spezifische Körpergewicht konstant. Der Schwerpunkt der Masse ist in diesem Fall identisch mit dem Schwerpunkt der geometrischen Figur. Daraus folgt, dass die Position des Schwerpunktes eines homogenen Körpers nicht von seiner Masse abhängt, sondern von i 's, gegeben durch die geometrische Form.

$$x_T = \frac{\int_V x dV}{V}, \quad y_T = \frac{\int_V y dV}{V}, \quad z_T = \frac{\int_V z dV}{V}$$

Im Falle eines homogenen Körpers mit konstanter Dicke ist t (Shell) $dV = t dS$, wobei dS ein Flächenelement ist und die Koordinaten eines solchen Körpers sind.

$$x_T = \frac{\int_S x dS}{S}, \quad y_T = \frac{\int_S y dS}{S}, \quad z_T = \frac{\int_S z dS}{S}$$

wobei S die Gesamtfläche eines Körpers ist, $Sx dS$ - statisches Moment eines Körpers zur Ebene yz .

Bei einem homogenen Körper mit konstanter Querschnittsfläche S über die gesamte Länge ist $dV = S dl$ und die Koordinaten eines solchen Schwerpunktes sind

$$x_T = \frac{\int_l x dl}{l}, \quad y_T = \frac{\int_l y dl}{l}, \quad z_T = \frac{\int_l z dl}{l}$$

wobei l ein Element seiner Länge ist.

Kann ein Körper in eine bestimmte Anzahl von Teilen unterteilt werden, deren Schwerpunkte bekannt sind oder berechnet werden können, so kann der Schwerpunkt eines derart zusammengesetzten homogenen Körpers wie folgt berechnet werden:

$$x_T = \frac{\sum x_i V_i}{\sum V_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i V_i}{\sum V_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i V_i}{\sum V_i}$$

Für eine Hülle im Raum

$$x_T = \frac{\sum x_i S_i}{\sum S_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i S_i}{\sum S_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i S_i}{\sum S_i}$$

Für einen Körper mit konstanter Querschnittsfläche oder für eine Linie im Raum.

$$x_T = \frac{\sum x_i l_i}{\sum l_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i l_i}{\sum l_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i l_i}{\sum l_i}$$

Die Berechnung der Schwerpunktkoordinaten erfolgt durch Eingabe der Ergebnisse von Teilberechnungen in eine Tabelle.

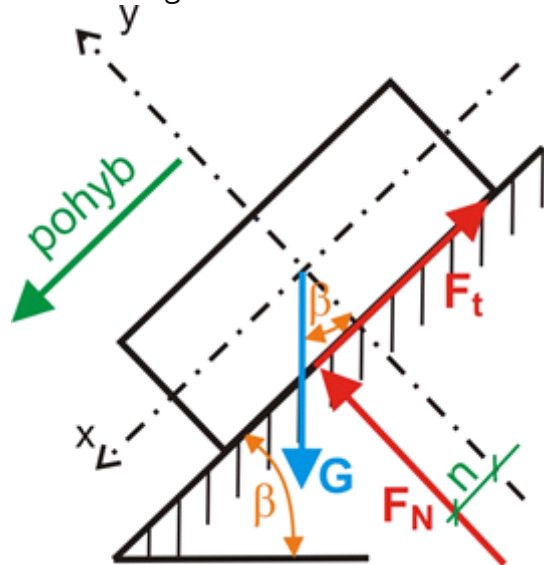
i	x_i	y_i	z_i	H_i	$x_i H_i$	$y_i H_i$	$z_i H_i$
1							
2							
...							
Σ				A	B	C	D

Das Symbol H_i repräsentiert eine der Variablen V_i, S_i, S_i, I_i . Die Koordinaten des Schwerpunktes werden als Anteil der relevanten Summen berechnet.

12. Passiver Widerstand

12.1. Passiver Widerstand

Gleitreibung:



Legende: *pohyb* - Bewegung

F_t - Reibungskraft

F_N - normale Reaktion

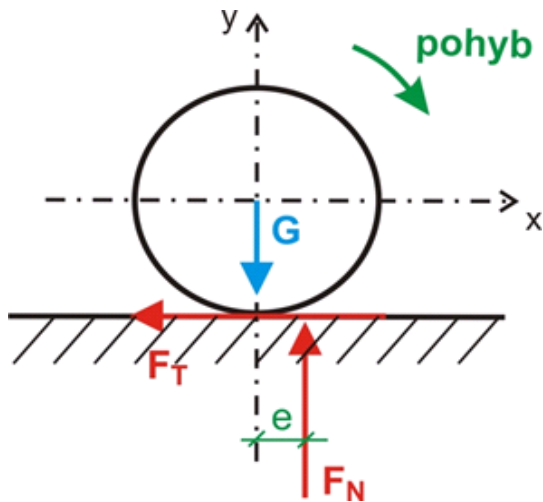
Coulomb's Recht:

$$F_t = F_N \cdot f$$

f - Gleitreibungskoeffizient

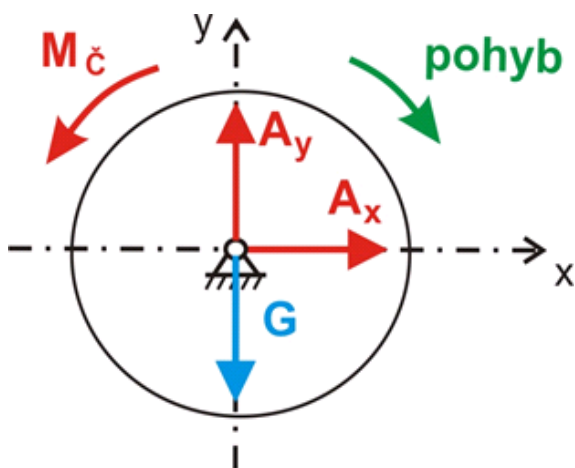
F_t - Reibungskraft - wirkt immer gegen die Bewegung.

12.2. Rollwiderstand



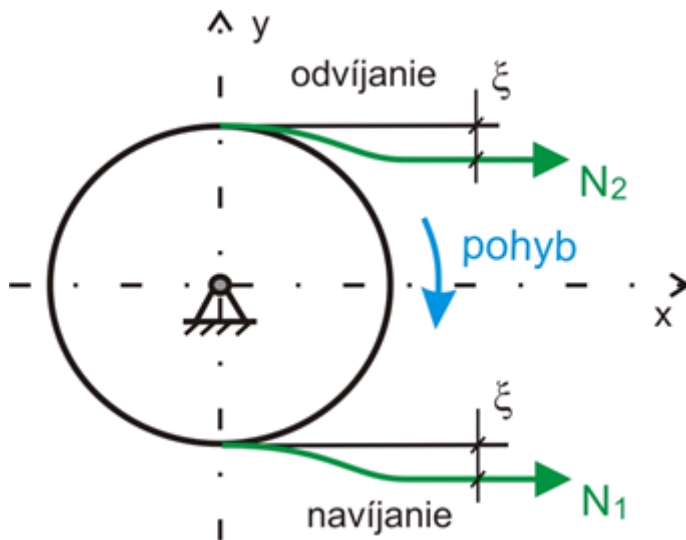
F_T - tangentielle Reaktion
 F_T - wirken gegen mögliches Verrutschen

12.3. Stifreibungsmoment



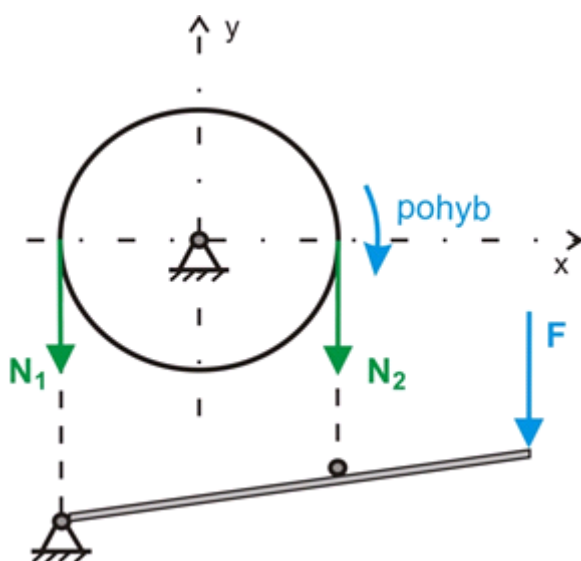
$M_{\check{c}} = f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}} \cdot A$
 $M_{\check{c}} = f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}} \cdot \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$
 $M_{\check{c}}$ - Stifreibungsmoment
 $f_{\check{c}}$ - Koeffizient der Bolzenreibung
 $r_{\check{c}}$ - Stifradius
 A - resultierende Reaktion im Pin

12.4. Steifigkeit, Unbeweglichkeit der Seile



Legende: *odvíjení* - Taumel, *Navíjení* - Aufzug, *Pohyb* - Bewegung
 ξ (ksí) - Arm der Seilsteifigkeit

12.5. Faserreibung auf der zylindrischen Oberfläche:



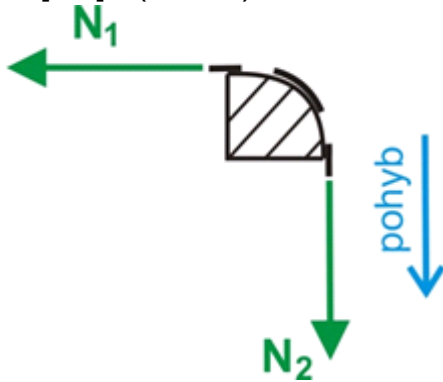
$$N_1 > N_2$$

Eulersches Gesetz: $N_1 = N_2 \cdot e^{\alpha \cdot f_1}$

α - Wickelwinkel[rad.]

f_1 - Koeffizient der Faserreibung auf der zylindrischen Oberfläche

α [rad] = $(\pi / 180) \cdot \alpha$



$N_1 > N_2$

Eulersches Gesetz: $N_1 = N_2 \cdot e^{\alpha \cdot f_1}$

INNOVATIONSPROZESSE

1. Prozess, Innovation, Innovationsmanagement

1.1. Was ist ein Prozess?

Prozess ist ein allgemeiner Begriff für die schrittweise Abfolge von Handlungen, Zuständen, Aktivitäten oder Arbeiten. Es gibt mehrere Arten von Prozessen in der realen Welt, weshalb der Begriff Prozess in der Praxis auf verschiedene Weise verwendet wird. Aus diesem Grund ist es wichtig zu wissen, in welchem Kontext man von welchem Prozess spricht, da ansonsten Missverständnisse auftreten können, zB

- Geschäftsprozess (Prozess als eine Abfolge von Aktivitäten und Arbeiten)
- Förderprozess (Prozess zur Wertschöpfung, Produktentwicklung)
- Systemprozess (Prozess einer laufenden Software)
- Produktionsprozess (Prozess der Produktherstellung)
- Technischer Prozess (Prozess der Erzeugung oder Gestaltung von etwas)
- Chemischer Prozess (Prozess als chemische Reaktion)
- Thermodynamischer Prozess
- Biologischer Prozess

Nach ihrem Verhalten lassen sich Prozesse einteilen in:

Zufälle Prozesse: Solche Prozesse funktionieren nach keinem klaren Schema, ihr Ergebnis kann nur mittels Wahrscheinlichkeiten erklärt werden.

Deterministische Prozesse sind jene, deren genaues Verhalten bekannt ist.

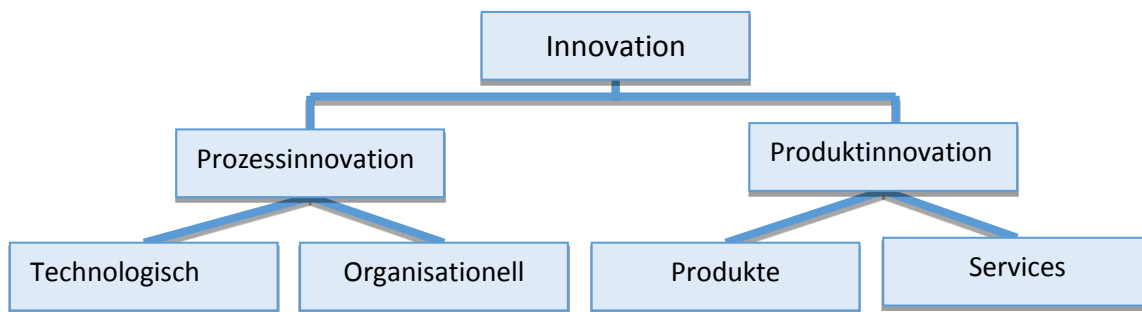
1.2. Was ist Innovation?

Innovation bedeutet Verbesserung. Sie stellt einen komplexen Prozess dar, welcher von der Idee über die Entwicklung bis hin zu einer möglichen Anwendung führt. Das Ergebnis von Innovationen ist verbesserte Prozesse, Produkte, Dienstleistungen oder anderes.

In der Regel unterscheidet man die folgenden Arten von Innovationen

- Produkt- oder Dienstleistungsinnovation,
- Prozessinnovation,

- Organisationelle Innovation,
- Marketinginnovationen.



I Innovation in der Praxis

- Innovation treibt die Entwicklung in allen Organisationen voran.
- Dank Innovationen werden neue Produkte eingeführt, verbessert und entwickelt, die Arbeitseffizienz erhöht, Kosten gespart und Qualitätsverbesserungen erzielt.

Das Anstoßen von Innovationen ist in Unternehmen ein integraler Bestandteil guten Managements sowie Teil von Ansätzen im Qualitätsmanagement (zB PDCA Kreislauf, Six Sigma, usw.)

1.3. Innovationsmanagement

Was ist Innovationsmanagement?

Innovationsmanagement beschäftigt sich damit, etwas Neues in die Funktionsweisen und Abläufe einer Organisation/eines Unternehmens oder in deren Produkt- bzw. Service-Portfolio einzubringen. Innovationsmanagement ist eng mit Qualitätsmanagement verwandt, weshalb sich deren Methoden überschneiden.

Innovative Managementmethoden

- Blaue Ozean Strategie
- CAF
- DMAIC
- Deming's Kreislauf (PDCA)
- EFQM Exzellenzmodell
- Kaizen
- Qualitätsringe
- Open Innovation
- Six Sigma
- TRIZ
- TQM – Total Quality Management
- Nutzerzentriertes Design

Demings Kreislauf (PDCA Kreislauf)

- Hierbei handelt es sich um eine Methode der schrittweisen Verbesserung der Qualität von Produkten, Dienstleistungen, Prozessen, Anwendungen und Daten u.a. in Form wiederholter Ausführung der folgenden vier Kernaktivitäten:
 - **P** – Plan – Planung der intendierten Verbesserung (Absicht)
 - **D** – Do – Umsetzung des Plans
 - **C** – Check – Verifikation der Ergebnisse der Umsetzung verglichen mit dem Ausgangsplan
 - **A** – Act – Anpassung der Absicht und der Umsetzung auf Basis der Validierung und des Einsatzes der Verbesserungen in der Praxis
- **In der Praxis** kommt Demings Kreislauf als klar definierte und periodische Sequenz von Schritt- und Aktivitätswiederholungen zum Einsatz, welche auf die Einführung von Innovationen und die Verbesserung von Qualität abzielt – und zwar primär in der Fertigung.

1.4. Six Sigma

- Hierbei handelt es sich um eine komplexe Managementmethode und wird als jene Philosophie bezeichnet, welche eine Organisation (ein Unternehmen) akzeptieren muss.
- Sie zielt auf die kontinuierliche Verbesserung (Innovation) der Organisation durch das Verstehen von Kundenbedürfnissen, Prozessanalysen und standardisierte Messmethoden ab.

- Dieses allumfassende, flexible Managementsystem setzt auf das Verstehen der Bedürfnisse und Erwartungen von Kunden sowie die disziplinierte Verwendung von Informationen und Daten, um auf dieser Grundlage Managemententscheidungen zu treffen.
- Innovationen basieren auf einem Verbesserungskreislauf in Sechs Sigma, welcher sich auf das Eruiere von Schwachstellen und deren Entfernung konzentriert.

Ziele und Eigenschaften von Six Sigma

- Gewinnmaximierung
- Effektiver Ressourceneinsatz und gesteigerte Produktivität
- Reduktion von Unterstützungsprozessen
- Minimierung negativer Phänomene: Defekte, Diskrepanzen, Verluste, Beschwerden und Kosten

1.5. TQM (Total Quality Management)

- Grundsätzlich wird es nicht übersetzt und die Abkürzung TQM verwendet,
- Es handelt sich um eine äußerst komplexe Managementmethode, welche besonderen Wert auf das Qualitätsmanagement aller das Leben einer Organisation betreffende Aspekte legt. Sie geht über die Rahmenbedingungen des Qualitätsmanagements hinaus und wird zu einer Methode strategischen Managements und Managementphilosophie für sämtliche Aktivitäten einer Organisation.
- Es gibt eine Zahl unterschiedlicher Formen und Interpretationen von TQM, die grundlegenden Merkmale davon sind jedoch in dessen Namen enthalten:

Total – bedeutet, das gesamte Personal einer Organisation miteinzubeziehen

Quality – entspricht dem Konzept der Qualitätsprinzipien, welche die Organisation vertritt

Management – Prinzipien gelten für alle Ebenen und Funktionen des Managements

Diese gängigen TQM-Prinzipien werden in verschiedenen Organisationen und Ländern anders angewendet, je nach den jeweils vorherrschenden sozialen, kulturellen, persönlichen, rechtlichen, technischen oder anderen Bedingungen.

1.6. Im Innovationsmanagement anwendbare Analysetechniken

- Brainstorming
- Mental Maps
- Paret's Regel
- SMART – Zielentwurf

Strategische Planung

- Unter strategischer Planung versteht man das systematische Management jeder Organisation/ jedes Unternehmens. Sie zielt darauf ab, all ihre Ressourcen zu bündeln, diese effektiv einzusetzen sowie rechtzeitig und richtig auf Veränderungen des Umfelds zu reagieren.
- Die größten Vorteile strategischer Planung sind, dass
 - sie dabei hilft, sich die Richtung, in welche eine langfristige Entwicklung hingehen soll, klar vor Augen zu führen.
 - sie es ermöglicht, alle Bestrebungen und Ressourcen auf die Meisterung der größten Herausforderungen auszurichten.
 - sie zeigt, wie man sich am besten auf die künftige Entwicklung äußerer Bedingungen vorbereitet, wie man den negativen Einfluss von Bedrohungen minimiert und zugleich potenzielle Zukunftschancen maximiert.
 - sie eine objektive, prioritätenbasierte Entscheidungsgrundlage schafft
 - langwierige, komplexe Probleme löst.
 - sie die optimale Verwendung sowohl offenkundiger als auch versteckter menschlicher und finanzieller Ressourcen ermöglicht.

1.7. Strategischer Plan

Unter einem **strategischen Plan** versteht man die Übereinkunft über ein gemeinsames Programm, welches man im Zuge einer wechselseitigen Kooperation schrittweise erreichen und unter Einsatz aktuell verfügbarer Ressourcen vorantreiben möchte. Es spielt keine Rolle, wie man die empfohlenen Schritte erreicht oder welche Methode der strategischen Planung man wählt: Viel wichtiger ist der gemeinsame Wille, jene Schritte zu unternehmen, welche zu einer Verbesserung der Gesamtsituation führen.

- Ein strategischer Plan sollte die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Langfristigkeit (ausgelegt auf mindestens vier Jahre);
- Systematik (betrifft alle Filialen und Disziplinen),
- Selektion (Festlegen von Entwicklungsprioritäten),
- Kohärenz (zwischen den Maßnahmen und den entsprechenden Zielgruppen),
- Kontinuität (er ist kein starres Dokument, er muss überprüft und modifiziert werden)
- Aufgeschlossenheit (gegenüber den Bedürfnissen und Ideen der BürgerInnen)
- Realitätsnähe.

1.8. Geschäftsstrategie

- Eine geschäftliche Strategie ist eine der wichtigsten Dokumente jedes Unternehmens, da sie spezifische Geschäftsziele für längere Zeiträume (3-5 Jahre) festlegt und Wege aufzeigt, wie man sie erreichen kann.
- Die drei Hauptbestandteile können unter dem Gesichtspunkt der Strategie betrachtet werden:
 - **Mission des Unternehmens:** Kurzversion für Angestellte und freie MitarbeiterInnen des Unternehmens, welche das Geschäftsfeld und die Beziehungen zu Unternehmenspartnern beschreibt;
 - **Langfristige Ziele (Vision):** bezieht sich auf ausgewählte Hauptleistungskriterien, enthält numerische und textuell festgelegte Ziele für den Zeitraum, über welchen hin die Strategie entwickelt wird;
 - **Eigene Strategie:** stellt eine zeitlich und faktisch verknüpfte Reihe von Veränderungen (Projekten) dar, deren erfolgreiche Umsetzung zur Erreichung der langfristigen Ziele führen wird.

2. Wettbewerbsvorteil, Wettbewerbsfähigkeit

2.1. Wettbewerbsfähigkeit

- Aus wirtschaftlicher Sicht versteht man darunter die Fähigkeit eines Unternehmens, Grundrenten zu erreichen.
- Ricards Grundrente bezieht sich auf ein knappe Ressourcen, sprich Ressourcen, welche von MitbewerberInnen schwer nachzumachen sind (zB ein einmaliger Standort, eine hohe Reputation über einen längeren Zeitraum usw.)
- Schumpeters Grundrente bezieht sich auf Innovationen und ist eher kurzfristiger Natur, da Innovationen nachgemacht werden können.

2.2. Wettbewerbsvorteil

Der Wettbewerbsvorteil von Organisationen kann sich aus deren Größe (Besitz, Handlungsspielraum, Marktposition), ihrer Fähigkeit zur Mobilisierung intellektuellen Kapitals, technischer Fähigkeiten und Erfahrungen sowie der Möglichkeit ergeben, eine neue Art des Produkt- oder Serviceangebots zu entwickeln. Dieser Trend trägt zum allgemeinen Wirtschaftsaufschwung bei. Wie Tidda et al. (2006) festhalten, hat Innovation in mehrerer Hinsicht Anteil daran:

- Es besteht eine starke Beziehung zwischen Marktmacht und neuen Produkten,
- neue Produkte helfen dabei, Marktanteile zu behalten und den Gewinn zu steigern,
- Wachstum und Einfluss auf nicht-preisbedingte Faktoren (Design, Qualität, Individualisierung),
- Fähigkeit, überflüssig gewordene Produkte zu ersetzen (verkürzter Produktlebenszyklus),
- Prozessinnovation, welche sich auf die Verkürzung der Produktionszeit auswirkt und es Unternehmen ermöglicht, neue Produkte schneller als die Konkurrenz zu entwickeln.
- Daraus ergibt sich, dass die Innovationsaktivität eines Unternehmens sich deutlich auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirkt, welche auf imitierbaren Fähig- und Fertigkeiten basiert. Eine höhere Wettbewerbsfähigkeit erreicht man, indem man es schafft, günstiger und in besserer Qualität zu produzieren als die Konkurrenz.

- Wenn eine Organisation nicht in der Lage ist, auf der Höhe der Zeit zu bleiben, besteht die Gefahr, dass sie den Anschluss verliert und andere KonkurrentInnen die Führung übernehmen. J. Schumpeter (Tidd et al., 2006, p. 8) argumentierte, dass UnternehmerInnen auf technische Innovationen – ein neues Produkt, Service oder einen neuen Produktionsprozess – setzen, um sich einen strategischen Wettbewerbsvorteil zu erarbeiten. In diesem Fall wird es einen Wettbewerb geben, welcher nicht darauf abzielt, die Gewinnspannen oder Absatzmengen bestehender Unternehmen zu reduzieren, sondern deren Existenz bedroht.

2.3. Innovation und Wettbewerbsvorteil

- Was das Verschaffen eines Wettbewerbsvorteils betrifft, lässt sich das Phänomen Innovation in drei Arten unterteilen:
 - Entweder werden das Produkt und die damit verbundenen Services verändert,
 - oder die Fertigung und Fertigungskapazitäten werden verändert,
 - oder die Menschen und Arbeitsweisen und -verfahren ändern sich.
- Zu Beginn stellt man eine Erfindung ins Zentrum, von der ausgehenden Innovation die natürliche Folge ist, oder man verfährt umgekehrt, sprich die Innovation geht der Erfindung voraus.
- Von Jirásek (2004) stammt die Formel: "... Innovation führt zu Innovationen, welche der Grundpfeiler für Wettbewerbsfähigkeit sind ..."
- Betrachtet man die Entwicklung des Phänomens Innovation von seinen Anfängen bis hin zur professionellen Triebfeder der Moderne – und zwar im Zusammenhang mit der Erlangung eines Wettbewerbsvorteils – so wird einem bewusst, dass sich die Denkweise verändert hat.
- Eine Innovation führt zur nächsten, ergänzt und stärkt eine andere. Sie führt zur Bildung von „Innovationsclustern“. Nur durch eine Analyse dieser Innovationscluster in Zusammenhang mit dem sozialen Bedarf an neuen Produktwerten wird der Wettbewerbsvorteil und der Fortschritt eines Unternehmens offenkundig.

2.4. Innovationsbasiertes Wachstum

- Der Zweck eines Unternehmens ist es, Kunden zu gewinnen. Aus diesem Grund hat eine wirtschaftliche Organisation nur zwei Hauptfunktionen: Marketing und Innovation (geschäftliche Funktionen).
- Das Unternehmen muss überprüfen, in welchem Ausmaß die Produkte den Bedürfnissen der heutigen Kundschaft entsprechen.
- Es gibt vier parallele betriebswirtschaftliche Hauptansätze:
 - Organisationelle Ablehnung von Produkten, Services, Prozessen, Märkten, Vertriebskanälen usw., welche nicht den Anforderungen betreffend die optimale Verwendung von Ressourcen entsprechen.
 - Die Organisation muss sich systematisch und laufend verbessern,
 - Erfolge einfahren,
 - systematisch Innovationen organisieren (ein anderes Morgen schaffen).

2.5. Innovationsziele und -strategien

Folgende Hauptfaktoren beeinflussen die Innovationspolitik sämtlicher Organisationen:

- Marktglobalisierung und Innovationsnachschub
- (Globalisierung ist mittlerweile für alle Organisationen ein Thema. Die Kommunikationstechnologien ermöglichen sogar kleinen Unternehmen eine internationale Geschäftstätigkeit.)
- Arbeitsvisualisierung, Fokus auf Beschleunigung und Echtzeit-Operationen, (Virtuelles Arbeiten ermöglicht eine hohe Flexibilität, erhöht jedoch auch das Risiko, Daten, Informationen, Wissen und gesamten Innovationsabsichten zu verlieren).
- Interesse an langfristiger Nachhaltigkeit und Standardisierung bringt Herausforderungen mit sich.
- (Wunsch nach langfristiger Nachhaltigkeit und Standardisierung setzt Innovationsvorschlägen Grenzen)
- Flexibilität des Vertriebsrasters und neue Geschäftsmodelle, (Das Reduzieren der Kosten und Maximieren der Flexibilität wirkt sich auch auf die Vertriebsprozesse aus und zwingt Organisationen dazu, auf mehrere Geschäftsmodelle zu setzen. Eine rasche Vermarktung basiert auf der oben genannten Anforderung, die Innovationsführerschaft und Wettbewerbsfähigkeit zu behalten.)
- **Fokus auf die schnelle Vermarktung neuer Ergebnisse aus der Forschung und Entwicklung.**
- **Eine Innovation muss deshalb kundenzentriert sein und einen Mehrwert bieten.**

Ausgehend von diesen Zielen müssen Organisationen ihre eigenen Strategien in Einklang mit ihrer Mission und Vision entwickeln.

2.6. Innovative Strategien

- Die **Strategie** einer Organisation gibt eine klare Richtung vor, **wie man sich in einer Situation zu verhalten bzw. wie man darauf zu reagieren hat.**
- Strategien spiegeln die Mission einer Organisation wieder, ermöglichen es, ihre Ziele zu erreichen und so ihre Vision wahr werden zu lassen.
- Strategien lassen sich am effektivsten aus den Erkenntnissen von **SWOT-Analysen** ableiten (Bereich, Organisation, Umfeld, etc.). Diese bilden die Grundlage für die Richtung. In diesem Zusammenhang darf man nicht vergessen, dass strategisches Management nicht nur bedeutet, eine ausgewählte Strategie anzuwenden: Dazu gehört auch das ständige Korrigieren und Evaluieren individueller Ziele, Richtgrößen und SWOTs.

2.7. Allgemeines strategisches Management:

- Basierend auf verschiedenen Vorschlägen erstellt es strategische Varianten.
- Es wählt die Richtung (Disziplin, Strategie) aus, wo diese zur Anwendung kommen.
- Es entwirft langzeitorientierte Szenarien und das Verhalten in deren Umfeld.
- Es überführt die Mission und Vision in eine Reihe messbarer Ziele und Indikatoren.
- Es schlägt vor, wie man diese Ziele erreicht.
- Es überwacht die Umsetzung der gewählten Strategie.
- Es beaufsichtigt die Entwicklung und Ausführung, macht ein Audit und nimmt basierend auf der aktuellen Situation Veränderungen vor.

2.8. Hierarchie von Strategien

- Diese klärt vor allem die Fragen **Wer, Wie und Wieviel?**
- In Organisationen hat die **Hierarchie von Strategien** allgemein die folgende Struktur:
 - Organisationsstrategie
 - Funktionsstrategien (Forschung und Entwicklung, Einkauf, Verkauf, Marketing, Logistik, Personalwesen usw.)
 - Operationsstrategien (Filialen, Fabriken, Regionen usw.).
- Innovative Strategien sind in der Hierarchie zwischen den **Funktionsstrategien** angesiedelt, sollten jedoch in den Funktionsstrategien aller Organisationseinheiten angesiedelt sein. Wie bereits bekannt ist, ist Innovation nicht nur eine Frage von Wissenschaft und Forschung.

2.9. Innovative Unternehmen

Innovative Unternehmen **entstehen** auf mehrere Arten:

- Auf Grundlage eines Businessplans, welcher auf den Ergebnissen von Forschung und Entwicklung und/oder einem patentierten technischen Prozess basiert und/oder von einer Bank oder mittels Risikokapitals finanziert wird,
- Auf Grundlage eines Businessplans, welcher mit Unterstützung eines Geschäftsinkubators erstellt wurde,
- Innerhalb eines Unternehmens bzw. als Corporate Venture,
- Ablegerfirmen (Ausgliedern von Unternehmensteilen aus der „Mutterfirma“),
- Soziales Unternehmen (Innovation in Form einer Veränderung der Gesellschaft),

2.10. Innovative Organisation / Firma

- Eine innovative Organisation folgt dem Motto: "Unser größtes Kapital sind Menschen."
- In diesem Fall ist dies nicht nur eine leere Phrase, sondern tatsächlich ein maßgebliches Merkmal einer Organisation, welche auf kreatives Handeln setzt. So eine Organisation nutzt Synergien, welche durch Teamwork entstehen. Sie hat für gewöhnlich eine prozessbasierte (oder flexible) Organisationsstruktur. Manchmal wird die Organisation auch mit einem Innovator (einer Persönlichkeit) in Zusam-

menhang gebracht, welche andere kreative Köpfe um sich schart.

- Das Konzept einer innovativen Organisation ist stark mit Unternehmertum verknüpft. Neue, innovationsgetriebene Businesspläne entstehen in hochtechnischen Disziplinen wie der Nano-Technologie, Biotechnologie, IT, Halbleiter usw.

Eine innovative Organisation erkennt man an:

- der gemeinsamen Vision, Mission und dem gemeinsamen Willen zur Innovation,
- ihrer Prozessstruktur,
- starken Charakteren (Führungspersönlichkeiten),
- effektiver Teamarbeit (Teilen von Wissen),
- ständiger individueller Weiterentwicklung,
- barrierefreier Kommunikation in alle Richtungen,
- der Einbeziehung aller Mitglieder einer Organisation ins Innovieren
- der Bereitschaft, Veränderungen zu akzeptieren,
- einer innovationsbegrüßenden Kultur (Klima)
- lernenden Organisation.

3. Informationssammlung, Kreativität

3.1. Informationssammlung, Ideenquellen, Innovationsanreize

Äußeres Umfeld

- Kunden
- LieferantInnen
- Wettbewerb
- BeraterInnen, V & V Institutionen
- Schulen, Universitäten
- Professionelle Publikationen
- Internet
- Ausstellungen, Messen, spezielle Seminare und Konferenzen
- Patentdatenbanken
- Werbeagenturen
- Investoren
- Medien
- Amtlich zugelassene Testlabore, Zertifizierungsagenturen
- Regierungsinstitution
- Öffentlicher Sektor
- Gesetzgebung
- Globalisierung

Inneres Umfeld

- Eigene Wissenschaft und Forschung
- Technische Abteilungen - Entwurf, Entwicklung, Technologie
- Produktionsabteilungen (Herstellung, Bereitstellung von Dienstleistungen)
- Marketing und Verkauf
- Logistik (Einkauf und Versand)
- Gewährleistung und Leistungen nach Ablauf der Gewährleistung
- InhaberInnen

3.2. Definition von Kreativität

- Kreativität ist ein Prozess, welcher zu einem neuen Objekt führt, welches nützlich ist und Bedürfnisse in einer angemessenen Zeit und Umgebung befriedigt.
- Kreativität ist ein kontinuierlicher Prozess, in dessen Zuge man Wissen und Erfahrungen aus der Vergangenheit zielgerichtet so lange miteinander kombiniert, bis man den nächsten Fortschritt erreicht, neue Regelungen findet und Zusammenhänge identifiziert, die besser geeignet sind, um ein bestehendes Problem in Angriff zu nehmen.
- Eine kreative Lösung ist die Lösung eines ernsthaften Problems. Ein schweres Problem ist ein Problem, welches keine erkennbare Lösung hat.
- Im Zusammenhang mit der Definition von Kreativität ist es wichtig, den Unterschied zwischen der Bewältigung von Aufgaben und Problemen zu betonen.
- Unter Aufgabenbewältigung versteht man das Erreichen eines Ziels mithilfe einer Methode. Lösungen werden verwendet, um algorithmische Verfahren zu definieren.
- Es ist nur bekannt, wie man das Problem ermittelt und wie die Herangehensweise daran grob aussieht. Man weiß jedoch nicht, wie man das Ziel erreicht.
- Kreative Lösungen basieren auf Wissen, allerdings ist Wissen allein kein Garant dafür, dass man ein Problem auch wirklich löst, wenn man dieses nur unreflektiert einsetzt.
- Kreativität basiert eher auf der Art und Weise, wie Wissen transformiert wird, nicht darauf, wie viel man davon besitzt.

3.3. Unterschied zwischen analytischem und kreativem Denken

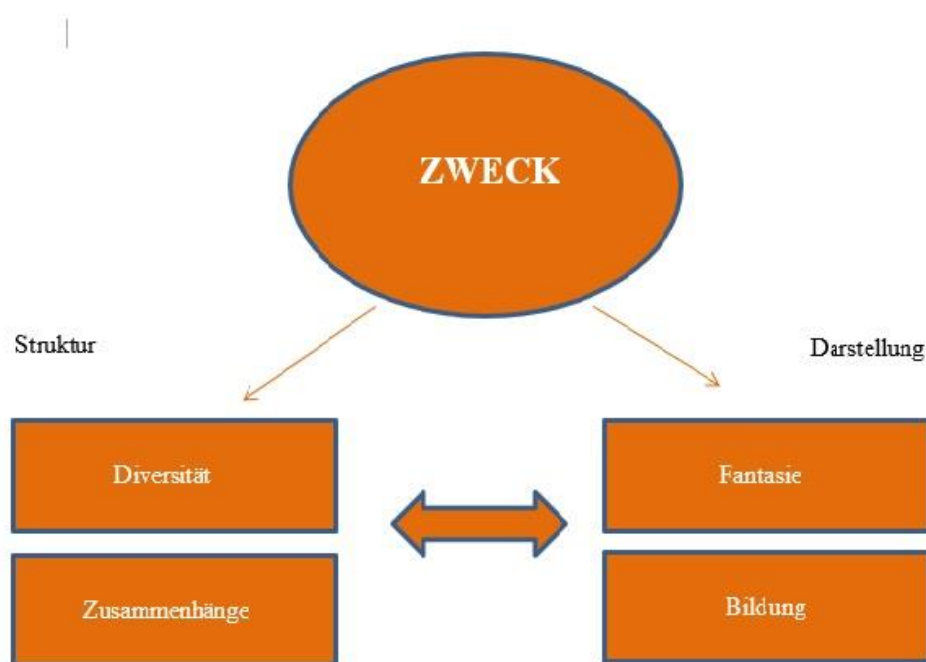
Analytisches Denken

- logisch
- individuelle Antworten
- Konvergenz
- Vertikales Verfahren
- Lösungsfindung

Kreatives Denken

- Vorstellungsvermögen
- Antwortsammlung
- Divergenz
- Laterals Verfahren
- Lösungsentwicklung

3.4. Kreativitätsmodel



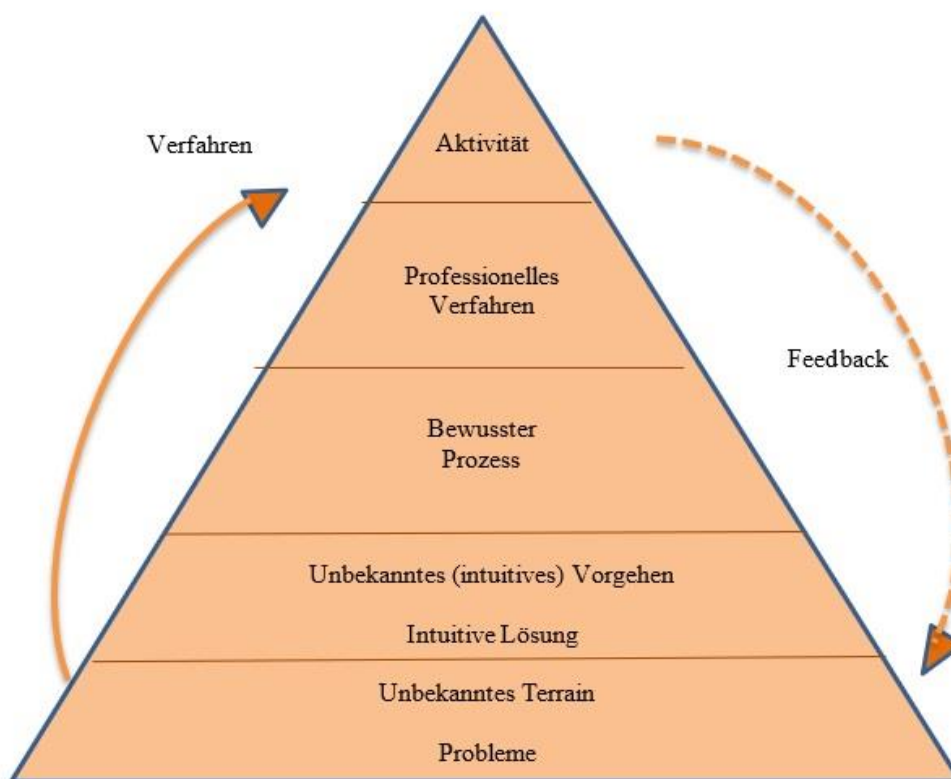
Die Phasen des Kreativprozesses

Trotz der Vielseitigkeit individueller kreativer Lösungen lassen sich vier typische Phasen des Kreativprozesses unterscheiden:

- Vorbereitungsphase: Hier findet eine intensive Auseinandersetzung mit dem Problem statt und die Ziele werden klar festgelegt. Sie wird auch mit der Beschaffung und Analyse der notwendigen Information in Verbindung gebracht.
- Denkphase: Man erkennt Probleme daran, dass sie sich nicht immer auf einmal lösen lassen. Die Lösungsbemühungen werden mit Pausen kombiniert. Offen-

sichtliche Unterbrechungen führen aber zu unbewussten Aktivitäten (spontanen Analysen, Faktorisieren, neue Einstellungen usw.) bedingt durch starke Motivation.

- Erleuchtungsphase: Es wird eine Idee entwickelt, welche geeignet ist, das Problem zu lösen oder den Lösungsweg aufzuzeigen.
- Verifikationsphase: Beurteilung der Richtigkeit der Lösung und ihrer Anwendung.
- Die Phasen des Kreativprozesses zeigen auf, wie sich – ausgehend von einem unbekanntem Gebiet und einer Intuition – schrittweise Fortschritte betreffend das Erkennen und professionelle Umsetzen von Lösungen erzielen lassen.



3.5. KAIZEN - Innovationsinnovative

- Die bekannteste Methode, MitarbeiterInnen in laufende Innovation einzubinden, ist KAIZEN. Die aus Japan stammende Methode ist derzeit ein integraler Bestandteil der Arbeitsinitiative in den meisten fortschrittlichen Unternehmen.
- **KAI:** Verbesserung (alles kann verbessert werden, jedes Produkt, jeder technische Prozess, jeder Arbeitsschritt, jedes Herstellungssystem)

- **ZEN:** Verbesserung findet laufend statt, als Reaktion auf jede neue Möglichkeit, veränderte Bedingungen, neue Informationen. Jede/r Angestellte kann daran teilhaben.
- **KAIZEN** bezieht sich auf die kundenzentrierte Verbesserung der Produktion, das Verbessern aller Abläufe in der Wertschöpfungskette der geschäftlichen Aktivitäten bei gleichzeitiger Verringerung der Kosten. Grundlage hierfür ist die geschlossene Initiative aller Angestellten – und zwar unterstützt durch ein effektives Motivationssystem.

Wichtige Anwendungsprinzipien des KAIZEN-Systems

- Jede Verbesserung, egal ob wichtig oder nicht, soll in Betracht gezogen werden.
- KAIZEN schließt niemanden aus. Alle MitarbeiterInnen können sich am Verbesserungsprozess beteiligen.
- Bevor eine Verbesserung eingeführt wird, muss diese unter Berücksichtigung des Status Quo sowie möglicher positiver und negativer Auswirkungen adäquat analysiert werden.
- Das Management hat zwei Hauptaufgaben: Das Schaffen und Erhalten von Standards sowie deren Verbesserung.
- Um Probleme zu lösen, sollten bevorzugt Arbeitsgruppen zum Einsatz kommen, darüber hinaus sollte die Initiative und Beteiligung von MitarbeiterInnen forciert werden.
- Verbessern der Lösungsfindung durch Team-Meetings. In diesem Zusammenhang sind eine gute individuelle Vorbereitung und Durchführung des Meetings ebenso wichtig wie die Auswahl des Themas und die Sicherstellung, dass die übernommenen Lösungen umgesetzt werden.
- Unabdingbar ist die genaue Kenntnis des Ist-Zustands der Produktion, aktueller Probleme und geschäftlicher Ziele sowie das Lenken des Verbesserungsprozesses in Bereichen, welche Flaschenhälse darstellen.
- Starke Unterstützung der Unternehmensführung. Der Erfolg von KAIZEN beruht zwar auf Aktivitäten der untersten Ebenen, setzt aber auch Unterstützung durch die Chefetage voraus.
- Herstellen organisationaler Voraussetzungen für Verbesserungen.
- Motivation der MitarbeiterInnen – Teilhabe am Erfolg: Materielle und finanzielle

Belohnung guter Lösungen.

- Fördern von Verbesserungen, welche sich schnell bewerten und umsetzen lassen und keine großen Investitionen benötigen.

4. Innovationspotenziale

4.1. Innovationspotenziale

- Sind gegeben, sobald die Potenzialanalyse zeigt, dass eine Idee umsetzbar ist und die Erfolg versprechenden Bedingungen erfüllt.
- Der Prozess der Identifizierung eines Potenzials kann mit der Suche nach der Nadel im Heuhaufen verglichen werden: Potenziale müssen aus dem Netzwerk ausgesiebt werden.
- Dieser Prozess bestätigt statistische Daten betreffend das sogenannte Verwerfen neuer, innovativer Ideen.

4.2. Ursprung von Innovationspotenzialen

Unerwartete Ereignisse

- Unerwarteter Erfolg
- Unerwartetes Scheitern: Diskrepanzen zwischen Ideen und deren Akzeptanz am Markt. Es wurden zu viele Veränderungen vorgenommen, welche die Kunden nicht annehmen.
- Unerwartetes äußeres Ereignis: Radikal veränderte Sichtweisen auf Veränderung am Beispiel des Irakkriegs: Plötzlich gibt es eine große Nachfrage nach Gasmasken. Ein unerwartetes Ereignis führt zur Aufforderung, sich etwas Neues einfallen zu lassen.

Inkonsistente Umstände: Widersprüche ergeben sich oft aus einem wettbewerbsdominierten Umfeld, in dem sich, vor allem bedingt durch das Aufkommen neuer Produkte, die Sichtweise auf Produkte verändert. Manchmal gilt es zu bewerten, wie man mit diesen Produkten umgehen soll. Es liegt am Management muss entscheiden, ob man weiterhin auf das eigene Produkt vertraut (loyales Produkt).

Die Nachfrage nach einem Produkt steigt, während die Verkaufszahlen stagnieren oder fallen.

- Menschen verkennen die wahre Natur des Problems.
- Es gibt eine Diskrepanz zwischen den angenommenen Anforderungen an das

- Produkt und den tatsächlichen Erwartungen der Kunden.
- Der Widerspruch in der Prozesslogik basiert auf dem Wissen über Prozesse.

Innovation basierend auf einem erforderlichen Prozess: Mangel an interdisziplinärem Verständnis von Innovation.

Veränderungen in der sektoralen oder Marktstruktur: Jeder Sektor entwickelt sich mit einer anderen Geschwindigkeit.

Demografische Veränderungen: Diese haben Einfluss auf das Kaufverhalten, die Kundenschaft, die es kauft und die Absatzmenge. Mengengbasierte Entscheidungen. Es handelt sich um eine betriebswirtschaftliche Angelegenheit mit Gewinn.

Veränderungen betreffend die Weltanschauung: Mit der Zeit ändern sich die Prioritäten, eine weitere hierarchische Schicht menschlicher Werte, was zum Problem des richtigen Timings führt. Gibt es eine reiche Oberschicht in einer Gesellschaft, besteht die Möglichkeit dazu, bestimmte Produkte speziell für diese Zielgruppe auf den Markt zu bringen.

Neues Wissen: Hierbei handelt es sich um Innovationen auf höchster Stufe. Es stellt sich in diesem Kontext die Frage, ob man neue Zusammenhänge entdeckt, die bisher in den Produkten noch nicht zum Einsatz kamen. Diese können die Grundlage für eine neue Idee bilden. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Vogelgrippe erwähnt, gegen welche man Ressourcen in die Entwicklung einer Schutzimpfung investiert. Es geht darum, sich in diesem geschäftlichen Wettrennen durchzusetzen. Entscheidend ist, wer etwas als erster auf den Markt bringt.

4.3. Typische Struktur einer Bewertungsstudie von Innovationspotenzialen

- Geschäftsidee: Identifikation des Bedarfs und wie er sich decken lässt, umwandeln einer Idee in ein Produkt oder eine Dienstleistung, Ressourcen, Informationen, Forschungstätigkeiten und Entwicklungsangelegenheiten,
- Potenzialbewertung: Marktpotenzial, Ressourcen, potentielle Wettbewerbsfähigkeit, Leistungsfähigkeit und Risiken.
- Bedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung: Vereinbarkeit mit der Geschäftsstrategie, bewusstes Eingehen von kalkulierbaren Risiken, Möglichkeit, aus der Neuheit einer Idee Kapital zu schlagen, Abschätzung der möglichen Folgen für das Unternehmen im Falle des Erfolgs bzw. Scheiterns...

4.4. Methodischer Prozess zur Bewertung von Innovationspotenzialen

- Geprüfte Ideen: Ist die Idee klar formuliert?
- Ideen in Gruppen sortieren.
- Auswahl eines Bewertungssystems oder Erstellen eines eigenen Bewertungssystems.
- Vornehmen von Bewertungen.

Bei der Auswahl eines Bewertungssystems und eines Potenzials sollten die folgenden Faktoren berücksichtigt werden:

- Funktionalität
- Vollständigkeit und Zielgenauigkeit,
- Zuverlässigkeit,
- eigene Leistungsfähigkeit,
- gute Anwendbarkeit.

4.5. Wie man Innovationspotenziale analysiert:

Marktpotenzial: Festlegen des Marktsegments und dessen Gesamtkapazität, Abschätzen der Marktentwicklung, Abschätzen des Marktanteils, Abschätzen der möglichen Absatzmenge von Produkten, Einschätzen des Preisniveaus und dessen Entwicklungstendenzen.

Ressourcenbedarf: Identifizieren der einzelnen Ressourcenteile und deren Verhältnis, Abschätzen der Kosten der einzelnen Ressourcen und des Investitionsbedarfs für die Verwirklichung der Innovation, die Kosten für die Umsetzung des Potenzials, Abschätzen des zusätzlichen Ressourcenbedarfs für den Betrieb und die Entwicklung des Unternehmens, der Sicherheitsverfahren und der mit den Ressourcen verbundenen Risiken.

Wirtschaftliche Effizienz: Liquiditätsfluss, geschätzter Gesamtgewinn hochgerechnet auf die Lebensdauer des neuen Geschäfts, Anlagenrendite, Dauer, bis das Geschäft Erträge abwirft, Entwicklung der Kapitalstruktur des Unternehmens.

Wettbewerbsfähigkeit:

- Identifizieren der wichtigsten Mitbewerber,
- Festlegen der zu bewertenden Wettbewerbsparameter,
- Vergleich der vermuteten Parameter mit Parametern der Konkurrenz.

Timing:

- Ideen kommen zu spät / der Markt ist bereits besetzt,
- Ideen kommen zu früh / der Markt ist noch nicht bereit, sie anzunehmen.
- Machbarkeitsstudie: Die Ergebnisse der Potenzialbewertung werden in einem offiziellen Dokument niedergeschrieben. Dieses dient als Grundlage für die Gewährung des Darlehens bzw. das Anboardholen von Investoren.

Folgende Faktoren sollten bei der Auswahl eines Potenzials und eines Bewertungssystems beachtet werden:

Funktionalität: Ermöglicht es, gute Ideen zu finden, diese nach eigenen Präferenzen zu organisieren und unpassende Ideen zu verwerfen.

Vollständigkeit und Zielgenauigkeit: Beeinflusst alle wichtigen Faktoren, zerstreut Zweifel beim Treffen der Entscheidung.

Zuverlässigkeit: Dient als Schutz vor dem Einschleichen systematischer Fehler in das Bewertungsverfahren.

Effektivität: Ermöglicht es, Bewertungen schnell und relativ kostengünstig vorzunehmen.

Gute Anwendbarkeit: Das Bewertungssystem ist nachvollziehbar, einsetzbar und angepasst an die aktuellen Bedingungen.

4.6. Typische methodische Testwerkzeuge:

- **Kontrollfragenmethode:** Einsatz einer Fragensammlung, welche sich unter ähnlichen Bedingungen als effektiv erwiesen hat.
- **Methode zum Vergleich und zur Organisierung von Ideen:** Eine Reihe von aussagekräftigen Evaluationskriterien, Festlegen der Werte einzelner Faktoren, Festlegen der Reihenfolge von Ideen nach ihrer Relevanz.
- **Investitionsmethoden:** Banken und andere Investment-Organisationen haben eine vorgegebene Anzahl an Kriterien mit festgelegten Grenzwerten, an die sich finanziell unterstützte Projekte halten müssen.

5. Kunden, Kundenkommunikation

5.1. Definition des Kundenbegriffs:

- Gemäß der standardisierten ČSN EN ISO 9000 kann die Organisation oder Person, welche ein Produkt erhält, als Kunde/Kundin bezeichnet werden.
- Aus diesem Grund kann jede Organisation unabhängig von deren Tätigkeitsbereich zwei Gruppen von Kunden definieren:
 - externe,
 - interne.
- Zu den internen Kunden zählen nicht nur MitarbeiterInnen eines Unternehmens, sondern auch dessen InhaberInnen, welche die sich aus der Geschäftstätigkeit ergebenden Erträge in die Verbesserung von Prozessen investieren können.
- Die externe Kundschaft umfasst Zwischenhändler (Kunden, die etwas weiterverkaufen) sowie EndverbraucherInnen von Produkten und Dienstleistungen.
- Eine geeignete Definition der Zielgruppe ist eine jener Aktivitäten, die wesentlichen Einfluss auf den Erfolg von Innovationen hat.

5.2. Kundenkommunikation

- Das Messen der Kundenzufriedenheit ist eines der wichtigsten Kriterien, wenn es um das Erfüllen des „Feedback“-Prinzips geht. Dieses Prinzip ist eines der Hauptgrundsätze eines effizienten Managementsystems. Informationskanäle ermöglichen die Kommunikation mit Kunden und versorgen das Unternehmen mit Informationen darüber, was sich Kunden erwarten und inwiefern sich deren Bedürfnisse mit jenen der Organisation decken.

5.3. Festlegen der Kundenanforderungen: Vorausgesetzt; Erweitert; Lockend

- Der ČSN EN ISO 9000 Standard besagt: "Organisationen sind abhängig von ihren Kunden und müssen daher die aktuellen und künftigen Bedürfnisse der Kunden

verstehen, deren Ansprüchen gerecht werden und versuchen, deren Erwartungen vorherzusehen."

- Kans Modell: Dies ist eine Methode zur Abbildung von Kundenanforderungen: Strukturierte Fragen helfen dabei, unterschiedliche Charaktere zu beschreiben und Unklarheiten zu beseitigen.
- Das Modell ist einfach zu verstehen und einzusetzen. Es geht davon aus, dass es drei Arten von Kundenanforderungen gibt, welche sich auf deren Zufriedenheit auswirken:
 - Vorausgesetzte Kundenanforderungen: Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, werden Kunden unzufrieden sein. Einerseits setzen Kunden n voraus, dass Produkte gewisse Kriterien erfüllen, andererseits führt deren Erfüllung nicht dazu, dass sich die Kundenzufriedenheit erhöht. Ein Produkt, welches grundlegenden Ansprüchen nicht gerecht wird, wird selten bis gar nicht gekauft werden.
 - Erweiterte Kundenanforderungen: Das Erfüllen dieser Anforderungen verhält sich direktproportional zur Kundenzufriedenheit. Verbessert man die Funktionalität oder Qualität eines Produkts, erhöht sich dadurch die Kundenzufriedenheit. Der Preis hängt von den Anforderungen ab.
 - Anlockende Kundenanforderungen: Übertreffen Produkte die Erwartungen Kunden, so erhöht sich nicht nur deren Zufriedenheit, sondern auch die Bereitschaft, mehr dafür zu bezahlen.

5.4. Innovationsansporn

- Prioritätskunden
 - sehen den Bedarf an einer Innovation lange, bevor ein Produkt auf den Markt kommt
 - erfinden oft selbst Produkte und Services, zB dann, wenn sie einen Produktmangel feststellen.
- Gruppe von Enthusiasten
 - Endkunden, die selbst zahlreiche Produktinnovationen und B-Software-Versionen entwickeln,
- Nutzen dieser Kontakte, um Informationen zu erhalten:
 - wie Produkte von Kunden verwendet werden

- mit welchen Problemen sich KundInnen konfrontiert sehen und wie sie damit umgehen
- Sammeln von Kundenvorschlägen für das Nachbearbeiten bestehender Produkte
- Innovationsanreize können basieren auf
 - der Einholung von Feedback,
 - Interessensgruppen von Kunden
 - Umfragen und Fragebögen
- Einige Unternehmen holen sich Kundenideen, indem sie selbst zu Kunden werden.

Harley Davidson: "Manager nehmen an Rennen teil und fahren Motorräder, die von dem Unternehmen produziert werden. Sie sehen ihre Produkte mit den Augen ihrer KundInnen, verstehen sie besser und nutzen das Feedback. "

5.5. Kundentest – Konzepte eines neuen Produkts

- Vorläufiges Ermitteln des im Markt steckenden Innovationspotenzials
- Eine der Größen, die in die Machbarkeitsstudie eingeht.
- KundInnen werden mit einer Leistungsbeschreibung, einer Zeichnung, einem Bild oder einem Modell konfrontiert. Sie werden befragt, ob das Produkt ihr Interesse erweckt und
 - ob (und warum) sie dieses Konkurrenzprodukten vorziehen würden,
 - ob sie grundsätzlich an dem Produkt interessiert wären (und was es kosten darf)
 - wie man das Produkt noch besser an ihre Bedürfnisse anpassen könnte

5.6. Entscheidung betreffend die Umsetzung von Themen

- Das Treffen von Entscheidungen ist eine der schwersten und wichtigsten Aufgaben des Managements.
- Das Treffen von Entscheidungen macht einen großen Teil der Arbeitsbelastung von Managern auf allen Ebenen aus.

- Der Entscheidungsprozess selbst kann in bestimmte, voneinander unabhängige Aktivitäten unterteilt werden, welche in einer zeitlichen Reihenfolge stattfinden und auch Phasen des Entscheidungsprozesses genannt werden.

Diese Phasen umfassen:

- Das Definieren (Identifizieren) eines Problems beim Treffen einer Entscheidung, welches oft auf der Ermittlung einer Abweichung des Ist- vom geplanten Soll-Zustand beruht.
- Analyse sowie objektive und nachvollziehbare Formulierung des Problems und Soll-Zustands,
- Entwickeln möglicher Lösungen für das Problem,
- Einführen von Evaluationskriterien,
- Analyse von Varianten, Ermitteln von Einflüssen, Konsequenzen und Auswirkungen der einzelnen Varianten,
- Auswahl der am besten geeigneten Varianten, sprich jener, mit welcher man am ehesten die definierten Wunschziele erreicht,
- Umsetzung der ausgewählten Variante,
- Überprüfung der Ergebnisse.

6. Entscheidungsfindungs-methoden

6.1. 6 Hüte

Die Methode unterteilt den Denkprozess und verwendet Analogien zu Farben/zu farbigen Hüten. Zuerst wird eine Karte erstellt, erst dann sucht man seinen Weg.

Die sechs Hüte repräsentierten verschiedene Rollen (Regeln) des Denkens:

- Der weiße (neutrale) Hut ist gleichbedeutend mit klaren Zielen, Tatsachen, Zahlen und Informationen. Man kann ihn mit einem Computer vergleichen, welcher nur auf Anfrage Informationen und Antworten liefert.
- Der rote Hut sieht rot, spricht repräsentiert Emotionen, Gefühle und Intuitionen. Er treibt die Beschäftigung mit dem Problem voran oder bricht sie sofort ab.
- Der schwarze Hut wird auch als des „Teufels Advokat“ bezeichnet. Er übernimmt die Rolle des Kritikers und Pessimisten und sucht nach Fehlern, Problemen, Risiken und Gefahren.
- Gelb stellt das Sonnenlicht dar, spricht die Klarheit, den Optimismus – einen positiven und konstruktiven Zugang. Damit ist dieser Hut das Gegenteil zum schwarzen, da er konsequent nach Chancen und deren positiven Folgen sucht.
- Der grüne Hut repräsentiert die Kreativität, die Fruchtbarkeit und Provokation, spricht sät den Samen für neue Ideen. Durch das kreative Denken bei der Suche nach Alternativen, welche außerhalb der Grenzen bestehender Ideen liegen, entstehen neue Konzepte und Einblicke.
- Der blaue Hut steht für Moderation und Kontrolle, Führung und Reflexion. Er gibt das Thema vor, stellt es dar und bildet eine gedankliche Choreographie.

6.2. Brainstorming und Brainwriting

- Die Grundlage dieser Methode bildet die offene Gruppendiskussion (sie ist am besten geeignet, um unterschiedliche Sichtweisen kennenzulernen)
- Das Erfolgsrezept beruht auf dem freien Sprechen, genauen Zuhören und Weiterentwickeln der Ideen, die am intensivsten diskutiert werden. Kritik ist nicht erlaubt.

- Der Zweck beider Methoden ist es, zur größtmöglichen Sammlung an Ideen und Vorschlägen zu gelangen, welche sich auf das Problem beziehen.
- **Brainstroming** ist eine Diskussion mit einem Moderator/einer Moderatorin, welche/r die Mitglieder führt und in der Spur hält.
- **Brainwriting** ist eine Art des Brainstormings. Ihr Vorteil besteht darin, dass durch das individuelle Niederschreiben Differenzen zwischen DiskutantInnen vermieden werden.
- Die Methode hat die folgenden Regeln:
 - Die sechsköpfigen Gruppen setzen sich unter Anleitung des Moderators/der Moderatorin mit dem Problem auseinander. Jedes Gruppenmitglied steuert innerhalb von fünf Minuten drei Vorschläge bei, wie sich Ideen verwirklichen lassen.
 - Es ist ratsam, jede Idee auf ein eigenes Blatt aufzuschreiben oder ein Formular mit drei Abschnitten vorzubereiten.
 - Nach ein paar Minuten werden die Blätter eines nach dem anderen vorgelegt und die vorherigen Ideen auf den bereits aufgedeckten Blättern niedergeschrieben.

6.3. Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)

Hierbei handelt es sich um eine Methode und eine Reihe von Werkzeugen, welche Kosten optimieren und reduzieren – entweder für ein bestehendes oder ein neues Produkt. DFMA bedeutet, dass die Effizienz bei der Produktherstellung verbessert wird. DFMA ermöglicht es, alternative Fertigungsverfahren und Montagekonzepte zu analysieren und nach neuen, innovativen Lösungen zu suchen. Die Methode umfasst Merkmalsanalysen, Strukturanalysen, Produktstrukturdesign, Komponentendesign, Evaluation und Selektion.

6.4. IRM und Wertanalyse

Das Praktische Planungs- und Kommunikationsinstrument IRM dient dazu, zukünftige Anforderungen und die Anzahl an Möglichkeiten, diese zu erfüllen, zu identifizieren. Es handelt sich vorwiegend um eine strategische Methode. Es gibt zwei Ansätze: Man geht entweder von der Anforderung oder von der anderen Seite, sprich der Idee, an die Sache heran. IRM umfasst die folgenden Aspekte:

- Allgemeines Verständnis der damit verbundenen Herausforderungen
- Kollektive Visionen
- Landkartenerstellung: Suche nach Räumen und Synergien zwischen der aktuellen Situation, den Visionen und Zielen.

Die Wertanalyse ist historisch gesehen die älteste Disziplin im Bereich der Wertanalyse und diente als Inspiration für die Begründung des Wertmanagements. Die Wertanalyse ist eine ausgeklügelte Reihe von Methoden, deren Zweck darin besteht, nach Lösungen zu suchen bzw. Lösungen zu entwerfen, welche die Funktionalität des zu analysierenden Objekts dahingehend verbessert, dass es effektiver wird. Es handelt sich hierbei um eine Anwendungsmethode, welche sich ausgezeichnet dazu eignet, sich mit einem existierenden Objekt kritisch auseinanderzusetzen.

6.5. „Six Sigma“ und TOC

- „Six Sigma“ ist ein Qualitätsmanagementsystem, welches auf fortschrittliche statistische Methoden setzt. Es dient dazu, Schwankungen zu verringern und Produktionsprozesse zu verbessern. Entwickelt wurde sie in japanischen Unternehmen.
- Die Beschränkungstheorie (TOC) ist ein Ansatz, welcher den Aspekt der Herstellungsgrenzen aufzeigt. Es ist eine allgemein bekannte Methode, welche auf der Tatsache basiert, dass es in jedem System (Unternehmen) andere Einschränkungen oder Engpässe gibt.

Vorteile von TOC:

- Die Grundidee dahinter ist die Aussage, dass jedes System von Natur aus zumindest eine Einschränkung hat. Wäre dies nicht der Fall, könnte ein System seine Ziele für immer erreichen, ohne sich verändern zu müssen.
- Es bietet eine Methode, welche ein effizientes Eruiere und eine effiziente Anwendung ermöglichen. Dadurch, dass sie sich auf den schwächsten Artikel konzentriert, werden schnell echte Gewinne erreicht.
- TOC versucht, Einschränkungen von Unternehmen so zu verwalten, dass diese nicht zu Verlusten führen.

6.6. IDEO

Diese schöpferische Methode dieser Idee basiert auf der Theorie des kreativen Denkens

von Designers, KünstlerInnen usw. Ihr zentrales Element bilden Brainstorming und die Visualisierung der Idee. Die Methode hat sich zur Grundlage der beliebten „Design Thinking“-Strömung entwickelt. Ein anderes wichtiges Merkmal ist die Zusammenarbeit von Menschen aus unterschiedlichen Disziplinen.

Die Kurzversion des Verfahrens kann in fünf Phasen unterteilt werden:

- Verstehen des Marktes, der KundInnen und Technologien.
- Beobachten aktueller und potenzieller BenutzerInnen unter realen Bedingungen und in realen Situationen.
- Visualisieren neuer Konzepte und neuer KundInnen, welche diese verwenden könnten, mithilfe von Prototypen, Modellen und Simulationen.
- Evaluierung und Feinabstimmung von Prototypen im Zuge einer Reihe schneller Iterationen.
- Einführung neuer Konzepte und deren Kommerzialisierung.

6.7. Stage-Gate

Dieser Ansatz ist charakteristisch für die Wissenschaft und Forschung. Er wird eingesetzt, um die Auswertung von Forschungsergebnissen zu systematisieren und zu beschleunigen.

Ablauf von "Stage-Gate":

- Abschluss der Labortests und Sicherstellen, dass das Produkt den Anforderungen entspricht.
- Testen des halbfertigen Produkts und sicherstellen, dass es zu 100% erwartungskonform ist.
- Das halbfertige Produkt wird ausgewählten KundInnen zum Testen vorgelegt.
- Anschließend wird ein Überblick über alle generierten Informationen gegeben, um sicherzustellen, dass das Produkt zu 100% erwartungskonform ist oder um zusätzlich nötige Ressourcen bereitzustellen (Rohmaterialien, Maschinen usw.).
- Nachdem sichergestellt wurde, dass das Produkt hergestellt werden kann, wird mit der Vorbereitung des Verkaufsplans begonnen.

Es ist wichtig herauszufinden, warum jemand ein neues Produkt kaufen soll oder warum eine Innovation begrüßenswert ist. Die Beurteilung sollte ExpertInnen überlassen werden, wobei es auch ratsam ist, Meinungen von Menschen mit anderem Kontextverständnis heranzuziehen.

7. Trendanalyse

7.1. Regeln zur Förderung von Innovation in der EU

- Derzeit wird die öffentliche Subventionierung von Innovationen von der Kommissionsregulierung (EC) Nr. 800/2008 vom 6. August 2008 genehmigt. Darin sind bestimmte Kategorien der finanziellen Unterstützung festgeschrieben, welche mit den allgemeinen Marktbedingungen sowie Artikel 87 und 88 des EC-Abkommens (Allgemeine Regelung von Bereichsausnahmen) vereinbar sind.
- Diese neue (allgemeine) staatliche Subventionsregulierung in EU-Ländern basiert auf den allgemeinen Rahmenbedingungen der staatlichen Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation (Offizielle Verlautbarung der EU 2006 / C 323 / 01).
- Beide dieser Regeln beruhen auf den oben genannten Grundsätzen der öffentlichen Unterstützung auf Grundlage identifizierter Misserfolge am Markt.

7.2. Schweiz

- Im Globalen Wettbewerbsindex 2007-2008, wird die Schweiz auf Platz zwei geführt.
- Die besten Ergebnisse aller untersuchten Länder werden in der Schweiz erzielt, was die Qualität von Forschungsinstitutionen und der Forschungs- und Entwicklungs-Ausgaben im geschäftlichen Sektor anbelangt.
- Im Jahr 2004 betragen diese Ausgaben 2,2 % des Bruttoinlandsprodukts, womit die Schweiz im Spitzenfeld der OECD-Staaten liegt.
- Anzumerken gilt auch, dass ca. 70% der gesamten Mittel für Forschung und Entwicklung in der Schweiz aus privaten Investitionen stammen.
- Die Schweiz ist anderen europäischen Ländern im Hinblick auf Patentanmeldungen weit voraus: Sie liegt hier 300% über dem Durchschnitt.
- Die starke Forschungs-, Patentierungs- und Innovationsbestrebungen der Schweiz sind einerseits auf die lange industrielle Tradition des Landes zurückzu-

führen, andererseits jedoch auch auf die bemerkenswerte Rolle in der weltweiten Pharmaindustrie, da es in der Regel viel Geld in die Erforschung und Entwicklung neuer Wirkstoffe fließt.

- Dies spiegelt die Tatsache wieder, dass das Schweizer Innovationssystem in erster Linie auf Investitionen des unternehmerischen Sektors in Forschung, Entwicklung und Innovation beruht. Die staatliche Förderung durch direkte Subventionierungsinstrumente ist begrenzt.

7.3. Deutschland

- Deutschland gehört zu den traditionell technisch sehr fortgeschrittenen Ländern und zählt damit in puncto Innovation zu den führenden Staaten Europas. Im Internationalen Wettbewerbsindex 2007-2008 belegte Deutschland auf Platz fünf.
- Zu den Faktoren, mit welchen Deutschland besonders punkten kann, zählen die Fähigkeiten des Landes, geistiges Eigentum zu schützen, Zugang zu Bildungs- und Forschungsangeboten, effektive Politik gegen Monopole und Kartelle, professionelles Unternehmensmanagement, Verfügbarkeit moderner Technologien, die Qualität der Forschungseinrichtungen und die Höhe der Ausgaben für Forschung und Entwicklung.

Ein detaillierterer Einblick in die Innovationsfähigkeit zeigt:

- Bei den Patentanmeldungen liegt Deutschland 250% über den Schnitt der EU-27,
- In den High-Tech-Industrien gibt es hohe Beschäftigungsraten und einen hohen Absatz von innovativen Produkten.
- Einer der wichtigsten Vorteile des deutschen Innovationssystem ist der hohe Anteil privater Investitionen in Forschung und Entwicklung, welcher durch den internationalen Vergleich des Europäischen Innovations-Scoreboards bestätigt wird. Diese Ausgaben betragen 2008 fast 1,8% des Bruttoinlandsprodukts, womit Deutschland in der EU nur hinter Schweden und Finnland liegt.

7.4. Finnland

- Finnland gehört zu den Ländern, welche lange Zeit an der Spitze der Wettbewerbsfähigkeits-Skala stand.

- Im Globalen Wettbewerbsbericht 2007-2008 belegte Finnland den sechsten Platz.
- Gemäß dieser Einstufung gilt Finnland als eines jener Länder, dessen Wirtschaftswachstum auf der Umsetzung von Innovationen beruht.
- Finnland gehört zu den Ländern mit den höchsten Ausgaben für Forschung und Entwicklung, welche im Jahr 2005 3,5% des BIP betragen.
- Private Investitionen machen mit über 70% die Mehrheit aller Ausgaben für Forschung und Entwicklung aus, womit Finnland deutlich über dem Schnitt der EU-27 liegt.
- Doch auch die staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung liegt deutlich über dem EU-Schnitt (bei über 150%). Dies zeigt sich auch in Form der deutlich höheren staatlichen Subvention von Forschung und Entwicklung sowie von Innovationen in Unternehmen.

Inhalte

- Förderung von Innovation – Allgemeine Ansätze und Werkzeuge
- Überblick über die Richtlinien betreffend Forschung & Entwicklung in ausgewählten Ländern
 - Finnland
 - Schweiz
 - Deutschland
 - Österreich
 - Dänemark
 - Großbritannien
 - Irland

7.5. Innovative und modernisierende Geschäftsstrategien

Derzeit ist es unübersehbar, dass der Staat bestrebt ist, die Rahmenbedingungen für den Ausbau der unternehmerischen Tätigkeiten (besonders für innovative, wachstumsorientierte Unternehmen und Start-Ups) zu verbessern.

Zum Beispiel:

- Schaffung von Online-Informationssystemen für Firmen, welche Informationen

mit Bezug zu innovativem Unternehmertum bieten, Einträge in Datenbanken sowie die einfache Anwendung von geltendem Recht und geltenden Standards usw. ermöglichen.

- Online-Unternehmensberatung (zB in Verbindung mit betriebswirtschaftlichen, lizenz- und exportbezogenen Angelegenheiten usw.)
- Systematische Vereinfachung der staatlichen Unterstützung von SMEs (Vereinheitlichung von Programmen) und Verringerung des Verwaltungsaufwands sowohl für die Unternehmen (Hilfe für AntragstellerInnen) als auch für die Behörden (Schaffung von One-Stop-Shops).
- Gesetzliche Anpassungen, welche die Entstehung eines Pro-Innovation eingestellten Umfelds begünstigen (zB den Technologietransfer in öffentliche Forschungsinstitutionen und deren Strategien).

8. Produktanalyse

8.1. Definition von Produkt und Service

Ein Produkt kann wie folgt definiert werden:

- Ein Produkt ist alles, was auf dem Markt angeboten werden kann, was Aufmerksamkeit erregt, was konsumiert werden und was einen Wunsch oder ein Bedürfnis befriedigen kann.
- Ein Produkt ist ein erzeugtes Gut mit objektiv und subjektiv feststellbaren Merkmalen, welche so gestaltet sind, dass das Gut auf die Kundschaft den bestmöglichen Eindruck macht und sie dazu bringt, einen Artikel zu kaufen und damit ihre Bedürfnisse zu befriedigen.
- Generell ist ein Produkt all das, was man zum Verkauf oder zum Konsum anbieten kann und was die PPO (Bedürfnisse, Anforderungen, Erwartungen) potenzieller und bestehender KundInnen erfüllt.

Aus wirtschaftlicher Sicht gilt ein Service als:

- Die Art von Produkt, welches dem Wesen einer Tätigkeitsausführung entspricht. Sein Wert wird durch den Nutzen ermittelt, welchen es einem Kunden/einer Kundin infolge einer erwünschten Veränderung bringt. Im Zuge der Bereitstellung von Dienstleistungen gibt es keine Besitzübertragung.
- Wenn man den Begriff „Service“ definiert, geht das in der Regel nur im Zusammenhang mit dem Begriff „Produkt“. Es handelt sich um das Ergebnis einer Tätigkeit, dessen Wert für einen Kunden/eine Kundin sich daraus ergibt, dass es ein Bedürfnis befriedigt. Auch Arbeit wird als eine Dienstleistung verstanden, wobei man hier zwischen den folgenden zwei Objekten als mögliches Endprodukt unterscheidet:
 - Prozess (Erstellung, Lieferung, Regelung)
 - Ergebnis (Verfahren).

8.2. Analyse der Produktnachfrage von Zielgruppen

Es gibt verschiedene Methoden, um Marktinformationen, nach welchen Produkte und Dienstleistungen ausgerichtet werden, zu analysieren und zu generieren.

Allerdings müssen eindeutige Schlüsse aus der Marktanalyse gezogen werden, welche vor allem die folgenden Faktoren berücksichtigt:

- Verhältnis von Angebot und Nachfrage,
- Die Bedürfnisse und Eigenschaften der Zielgruppen (potenzielle KundInnen),
- Die Stärke des Wettbewerbs: Suche einer Alternative zur Befriedigung bestehender Bedürfnisse.

Die Analyse muss vor allem die folgenden Fragen beantworten:

- Wer zählt zur Zielgruppe/zu dem Benutzen eines Produkts oder einer Dienstleistung?
- Mit welcher Nachfrage nach Dienstleistungen kann gerechnet werden?
- Welche alternativen Angebote hat die Zielgruppe, um eine Bedürfnisse zu befriedigen?
- Wie viel ist die Kundschaft bereit, für das Produkt zu bezahlen?

Die Analyse des aktuellen Angebots muss vor allem die folgenden Fragen beantworten:

- Gibt es Konkurrenz bzw. wie hoch ist der Marktanteil des Mitbewerbs?
- Wie umständlich ist der Wechsel von einem Anbieter/einer Anbieterin zum/zur anderen?

8.3. Marketingstrategie

Eine Marketingstrategie muss folgende Punkte umfassen:

- Die Mission eines vorgegebenen Produkts oder Services: Hierbei handelt es sich um die Darstellung der grundlegenden Tätigkeiten und Funktionen in Bezug auf den Markt bzw. zu potenziellen NutzerInnen des Projekts.
- Das strategische Hauptziel: Der Zustand, welcher durch die Umsetzung der Services erreicht werden soll,
- Ausgewählte Strategien: Ausgewählte Diagramme, welche zeigen, wie die Hauptziele erreicht werden.

8.4. Marketing-Mix

Der "Marketing-Mix" ist die Beziehung zwischen dem beabsichtigten Produkt und dem Markt im Hinblick auf vier grundlegende Aspekte (vier "P"):

- **Produkt** ("CO" – das fertige Produkt oder Service): Beschreibung der Produkte und Services und Spezifizieren der Bedürfnisse, welche sie befriedigen.
- **Preis** (und Preispolitik): Die Entscheidung darüber, zu welchen Preisen welche Produkte und Services angeboten werden.
- **Platzierung** ("KDE" – Platzierung von Produkten und Services): Eine Beschreibung der Vertriebskanäle, über welche Produkte und Services den Kunden angeboten werden.
- **Promotion** ("JAK" – Werbung – Kommunikationsmix): Eine detaillierte Beschreibung aller Kommunikationskanäle, welche für das Bewerben von Services genutzt werden.

Die Entscheidungen, welche für jeden dieser Punkte zu treffen sind, werden in beträchtlichem Maße von den Entscheidungen beeinflusst, welche in den Punkten zuvor getroffen wurden.

8.5. Spezifizierung der Produkthanforderungen

Diese enthalten detaillierte Informationen, welche benötigt werden, um das Produktdesign zu erstellen. Diese Details sollten für jede Funktion des Systems festgelegt werden, um jenen Ansprüchen gerecht zu werden, welche unten in den qualitativen Charakteristika eines Produkts aufgezählt sind. Die Anforderungen lassen sich zB kategorisieren nach:

- Funktionellen Anforderungen
- Leistungsanforderungen
- Eigenschaftsanforderungen (Attribute)

Grundlage für das Spezifizieren von Anforderungen

- Verstehen der Nutzerbedürfnisse
- Kenntnis der Unternehmensprozesse und -regeln
- Analyse verwendeter Dokumente

Hochqualitatives Spezifizieren

- Vollständigkeit (enthält alle Anforderungen)
- Kontinuität (Unvereinbarkeit: einzelne Anforderungen müssen sich nicht widersprechen)

- Parametrisierung der Anforderungen (quantitative and qualitative Attribute werden den Anforderungen zugeordnet)
- Kategorisierung von Benutzern
- Gleicher Detailgrad (sollte es notwendig sein, lässt sich das Dokument auch auf unterschiedlichen Ebenen strukturieren)
- Kontrollierbarkeit

Arten von Anforderungen

- Funktionale Anforderungen beziehen sich auf das Grundgerüst des Systems und werden mithilfe spezifischer Instrumente gemessen. Dazu gehören Datenwerte, logische und Entscheidungsalgorithmen. Funktionale Anforderungen legen fest, was das Produkt tun/können soll.
- Nicht-funktionale Anforderungen beziehen sich auf Verhaltenseigenschaften, welche vorgegebene Funktionen besitzen sollen, zB Leistungsfähigkeit, Benutzern usw. Nicht-funktionale Anforderungen können einer bestimmten Messmethode zugeordnet werden. Dieses Beispiel zeigt Möglichkeiten auf, welche die Quantifizierung von nicht-funktionalen Anforderungen betreffen. Nicht-funktionale Anforderungen geben vor die Merkmale vor, über welche ein Produkt verfügen sollte.
- Projekteinschränkungen legen fest, wie sich das Endprodukt in der Praxis einsetzen lässt. So muss ein Produkt zB ein bestimmtes Interface, eine bestehende Hardware oder Software nutzen, für einen Geschäftszweig geeignet sein, in das vorgegebene Budget passen und zu einem festgelegten Zeitpunkt fertig werden.
- Projektimpulse sind geschäftsbezogene Einflüsse: So ist beispielsweise der Produktzweck ebenso ein Stimulus wie die Stakeholder in einem Projekt. Diese Stimuli haben verschiedene Gründe und wirken sich in unterschiedlicher Intensität auf ein Projekt aus.
- Die Projektfragen klären die Bedingungen, unter welchen das Projekt entwickelt wird. Diese werden in die Anforderungssammlung übernommen, sodass ein Bild erzeugt wird, welches die gesamte Bandbreite an Aspekten abdeckt. Dieses trägt zum Erfolg oder Misserfolg des Projekts bei.

8.6. Produktwert für die Kunden

- In seinem Buch Marketing Management definiert Philip Kotler den Wert für Kunden/einer Kundin als Wertschöpfung für KonsumentInnen. Darunter versteht er die Differenz zwischen dem gesamten Wert für die VerbraucherInnen (die Menge

an Vorteilen, welche sich ein Kunde/eine Kundin von einem Produkt oder Service verspricht) und dem gesamten Preis, welchen die KonsumentInnen dafür bezahlen müssen (all jene Kosten, die einem Kunden/einer Kundin entstehen).

- Der tatsächliche Wert ist immer eine subjektive Einschätzung. Es geht in erster Linie darum, wie ein Kunde/eine Kundin das Produkt oder Service wahrnimmt, da sich der Wert nur schwer objektiv vom verkaufenden Unternehmen ermitteln lässt. Diesen persönlichen Mehrwert des Produkts stellt der Kunde/die Kundin dem gegenüber, was er oder sie für dessen Erwerb aufzubringen, sprich zu bezahlen hat.

Der Prozess der Wertbereitstellung

- **Wertauswahl.** Hierbei handelt es sich um die Phase, welche abgeschlossen werden muss, bevor ein Produkt erzeugt wird. Die Marketingabteilung muss den Markt segmentieren, einen geeigneten Zielmarkt aussuchen und eine Nische für den angebotenen Wert finden. Segmentierung, Fokus und Marktplatzierung sind die Kernaufgaben des strategischen Wertmarketings.
- **Wertbereitstellung.** In dieser Phase muss sich das Marketing entscheiden, welche Vorteile und welchen Preis ein Produkt haben wird und wie bzw. wo es vertrieben wird.
- **Wertvermittlung.** In dieser Phase werden alle Möglichkeiten der Verkaufsmannschaft, der Verkaufsförderung, Werbung und anderen Instrumente ausgeschöpft, um auf ein Produkt aufmerksam zu machen und dieses anzupreisen.

8.7. Wertezyklus

Mit dem Wertezyklus wird ausgedrückt, welche Werte ein Unternehmen seinen Kunden bietet und wie sich diese Werte auf das Unternehmen auswirken.

- Unternehmen bietet der Kundschaft:
 - Produkt, Qualität, Verkaufsförderung, Beratung, Servicepakete...
- Kundschaft bringen dem Unternehmen:
 - Finanzielle Vergütung, Loyalität, Weiterempfehlungen...
- Unternehmen bieten den Mitarbeitern:
 - Blick hinter die Kulissen, Sicherheit, berufliche Möglichkeiten, Belohnung, Motivation, schützendes Zusatzgerät
- MitarbeiterInnen bringen dem Unternehmen:

- Wissen und Fähigkeiten, neue Ideen, Loyalität

8.8. Phase des Wertprozesses

Hierbei handelt es sich um einen endlosen Prozess, in dessen Zuge der Kundschaft ständig der Produkt- oder Servicewerts vergegenwärtigt wird;

- Anpassung der Firma, vor allem der Marketingstrategie basierend auf diesen Erkenntnissen;
- Erzeugen des gewünschten Wertes (nicht nur den erforderlichen, sondern auch den bereits antizipierten Wert, Übertreffen der Erwartungen durch Innovation und Kreativität);
- Einholen von Kundenfeedback, permanentes Erforschen von Sachverhalten und Integrierung dieser Maßnahmen in die Geschäftsprozesse;

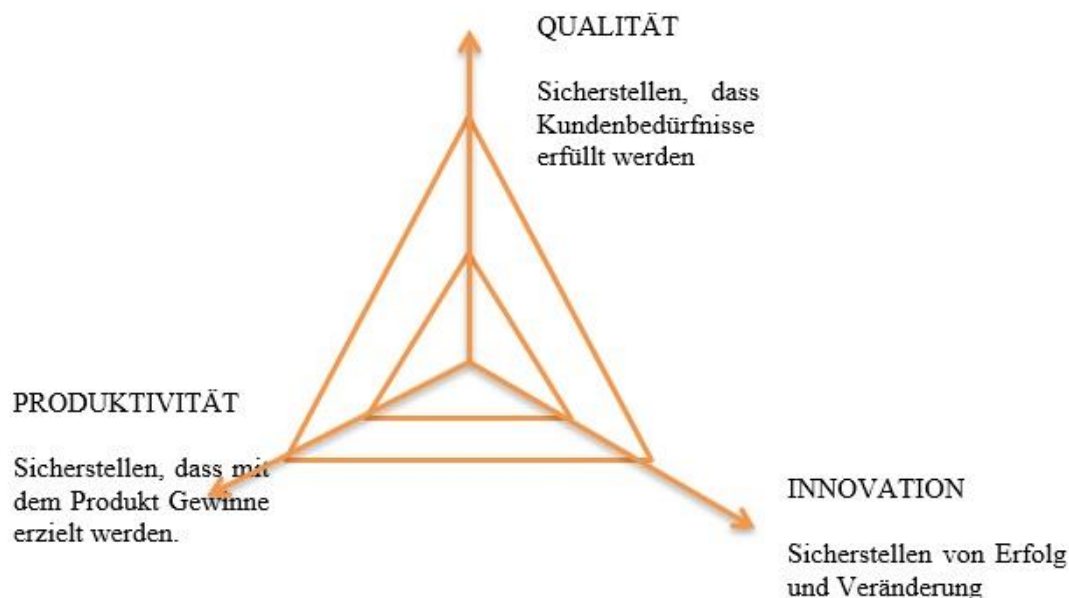
Wenn eine Firma die Notwendigkeit für Wertmanagement nicht erkennt und dessen Prinzipien nicht berücksichtigt, kann es in der wettbewerbsorientierten Welt von heute nicht überleben.

9. Produktinnovation

9.1. Vorbereitung und Planung neuer Produkte

Was ein Produkt für Unternehmen so wichtig macht, ist die Tatsache, dass es sich dabei um ein Mittel handelt, welches geeignet ist, die Kundenbedürfnisse zu befriedigen und welches durch seinen Verkauf eine Erlösquelle für Unternehmen darstellt. Neue Produkte werden in der Regel als „frisches Blut“ für das Geschäft betrachtet.

Strategische Faktoren für die Produktinnovation



Die nachfolgenden Faktoren unterstreichen die Wichtigkeit sorgfältiger Vorbereitung und Produktplanung:

- Hoher Wettbewerb auf dem Markt für alle Arten von Produkten,
- Konstante Beschleunigung von Innovationszyklen,
- Großes Produktvariierungspotenzial,
- Einfluss von Produkten auf die Produktivität, die Qualität und die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens
- Das Produkt ist ein integraler Bestandteil der Unternehmensaktivitäten
- Die Komplexität und Risiken, welche mit der Entwicklung neuer Produkte einhergehen.

In Unternehmen wird oft unterschätzt, wie wichtig Produkte sind. Gründe für das Scheitern von Unternehmen sind häufig fehlende Attraktivität, fehlender Bezug der InhaberrInnen zum Kerngeschäft, alte Maschinen, überholte Managementansätze usw.

Zumeist liegt das Scheitern daran, dass:

- Produkte nicht den Ansprüchen der Kundschaft genügen,
- Produkte für die Herstellung viel Material, Energie und Arbeit benötigen,
- Produkte mangelhaft, veraltet, uninteressant oder kaum verfügbar sind,
- Produkte unökonomisch und mit veralteter Technologie gefertigt werden.

9.2. Klassifizierung von Produkten

Produkte werden nach mehreren Eigenschaften klassifiziert. Die Identifizierung von Produktarten ist erforderlich, um Systembeziehungen in Unternehmen und Entwicklungsmanagement zu verstehen.

- Produkt Domain Kompetenz: Umfasst die baulichen, kinematischen Verankerungen der Haupttechnologie, Anwendungsgebiete, Standards usw. Ein Beispiel hierfür sind Produkte der Elektrotechnik, Autos, Produktionsmaschinen und ähnliche.
- Verwendungszweck des Produkts, zB Konsumprodukt, Anlage zur Komponentenherstellung
- Produktlebensdauer: Kurz- und langfristige Konsumprodukte, saisonale Produkte
- Technische Eigenschaften: klassische Produkte, High-Tech-Produkte
- Herstellungsweise: Massen-, Serien-, Einzelanfertigung, Standard-/Spezialprodukte

Von der Ebene der Produktdifferenzierungen hängen ab:

- Kategorie – legt die Hauptfunktion fest.
- Form – legt wichtige Merkmale fest.

Abhängig von der Beziehung zum Produktsortiment unterscheidet man zwischen:

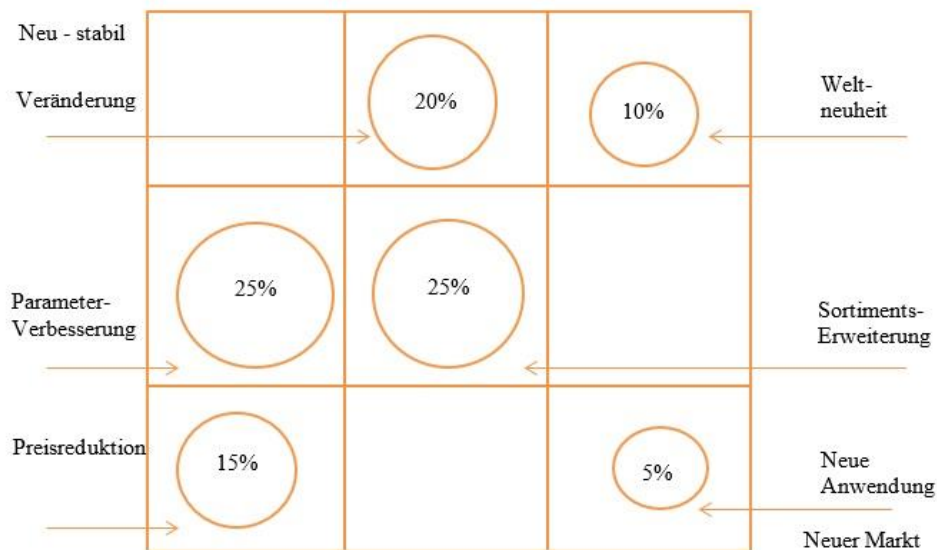
- Hauptprodukt – erfüllt standardmäßige Erwartungen der Kundschaft
- Erweitertes Produkt – bietet zusätzliche Merkmale
- Produktionslinie – eine Reihe von Produkten einer bestimmten Gruppe mit bestimmten Eigenschaften
- Potenzielles Produkt – zukünftiges Produkt mit verbesserten Parametern

9.3. Wie man ein neues Produkt erstellt

Als Beispiel für eine Methodik zur Erstellung neuer Produkte wird die Klassifizierung von Crawford C.M., (1996) herangezogen:

- Sich über die Herstellung Gedanken machen
- Erarbeitung eines Produktkonzepts
- Testen des Konzepts
- Entwicklung eines Protokolls (der Produktspezifikationen)
- Erstellen eines Produktprototyps
- Testen der Prototypen
- Fertigen eines Probeprodukts
- Fertigen des Serienprodukts
- Ein essentieller Aspekt im Zuge der Erstellung einer Produktinnovation ist die Einordnung des innovativen Projekts im Hinblick auf die Marktpositionierung und den Grad der Neuheit.

Einbezug der Produktinnovation



Gesamter Prozess der Erstellung innovativer Produkte



9.4. Phasen der Produktinnovation – Produktvorgaben

Es gibt zwei Grenzfälle der Produktvorgaben:

- Die Spezifikation liegt eindeutig vor: Ein Beispiel hierfür ist die eindeutige Kundenbestellung eines maßgefertigten Produkts. Eingeschränkt ist die Spezifikation nur dadurch, dass sie sich an vorgegebene Grenzen halten muss bzw. ihre Parameter hinsichtlich der Machbarkeit einem Relativitätscheck standhalten müssen.
- Die Vorgabe ist vollkommen unbestimmt: Dies ist ein typisches Beispiel für bedeutende Innovationen. In diesem Fall kann es sein, dass das Erarbeiten konkreter Vorgaben die meiste Zeit in der Produkterstellung in Anspruch nimmt.

Damit die Vorgabe den Zielen entspricht, muss sie alle Attribute eines Produkts miteinbeziehen, sprich die **Spezifikation der Parameter**:

- Funktionale
- Wirtschaftliche
- Technische und materialbezogene
- rechtliche
- Marketing

- Entwicklungsländer

9.5. Produktdesign

Die tatsächliche Projektierung eines Produkts wird manchmal versehentlich mit der vollständigen Entwicklung des Produkts verwechselt, da ein Großteil der Arbeit in dieser Phase zu leisten ist. In der Regel unterscheidet man zwischen dem konzeptionellen und dem detaillierten Design. Typische Beispiele für konzeptionelles Design sind:

- Produktstruktur - Grundlegende Formen, Hauptteile und deren Verbindungen
- Funktionsverteilung und deren Hauptträger: Materialien, Komponenten, Dimensionen, Stärkeberechnungen,
- Funktionale Diagramme
- Energietransfer, Kraftübertragung
- Raumgestaltung
- Kontrollrichtlinien
- Physische Modelle zur Überprüfung von Prinzipien

Typische Beispiele für detailliertes Design sind:

- Komponenten, Elemente, Knoten
- Standardisierung
- Dimensionen, Form, Toleranz
- Technologie,
- Genauigkeit, dimensionale Schleifen,
- Verlässlichkeit,
- Materialien,
- Oberflächenveredelungen,
- Service, Wickeln.

9.6. Testen der Produktentwicklung

Wie andere Gebiete auch, durchlaufen Tests eine dynamische Entwicklung, welche angetrieben wird durch:

- kürzere Zeitspannen für die Produktentwicklung,
- weniger Tests bei gleichzeitiger Reduktion der Testkosten,
- Anreichern von Tests mit neuen Attributen (zB Umweltschutz, Sicherheit, Nutzungskomfort),
- Internationale Kompatibilität von Tests und Zertifizierungsverfahren,

- Neue Prüftechnologien (Eindringen von Informations- und Kommunikationstechnologien ins eigene Privatleben).

Phasen des Innovationszyklus Testfunktion

Produktidee	Validierung des funktionalen Verfahrens Generieren von Basiswissen für konzeptionelle Lösungen
Produktkonzept	Definieren der grundlegenden Produktparameter Entscheidungen für geeignete Lösungen Informationen betreffend Implementierungsentscheidungen
Produktentwicklung Bauliche Lösungen	Daten für das detaillierte Design, Unterstützung von Lösungen für stärkebezogene, dimensionale, funktionale, operationale und andere Eigenschaften.
Prototyp	Validierung einer innovativen Lösung Informationen für die Produktverbesserung und technische Vorbereitung der Herstellung
Fertiges Produkt	Tests, welche von Kunden oder Standards vorgeschrieben werden
Herstellung	Tests zur Verbesserung der Technologie Vorbereitung fortlaufender Innovationen
Ende der Produktlebensdauer	Informationen über Produktrecycling

9.7. Wettbewerbsfähigkeit innovativer Produkte

Die Evaluierung und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit eines Produkts wird mit einer großen Anzahl an Attributen in Zusammenhang gebracht (welche zu dutzenden bis hunderten miteinander verflochten sind). Zu Analysezwecken ist es daher notwendig, drei Produktattribute einzusetzen:

- Produktfunktion (Kundenbeziehung)
- Produktcharakter (produktbezogen)
- Vorteile (Beziehung zum Unternehmen als Ganzes)

Funktionale Parameter des Produkts unterscheidet man

- nach Vielseitigkeit
 - produktspezifisch (Geschwindigkeit, Inhalt, ...)
 - universell (Leben, Verlässlichkeit, Preis)

- **nach der Produktlinie**
 - grundlegend – Bestimmen der Funktionen
 - erweitert – Mehrwert zu den Basisfunktionen
 - unterstützend – sind nicht wesentlich für die Existenz der Produkte, verbessern aber deren Marktpotenzial

Parameter des Produktmarketings:

Diese Sammlung an Parametern schafft die Ausgangsbedingungen für künftige Produktverkäufe. Typische Beispiele:

- Preisdeckelung und Modifikation für unterschiedliche Kundensegmente (Produktimage, Wesenszüge)
- Einfluss auf das Vertriebssystem (Lieferzeit statt Modifikation)
- Produktausführung (Herstellung in niedriger, durchschnittlicher und Premium-Qualität)
- Stil (der Eindruck, den das Produkt beim Kunden hinterlässt).

Technologische Produktparameter:

- Materialaufwand
- Investitionen
- Energieaufwand
- Technologie
- Herstellung
- Montierbarkeit
- Einfluss auf die Kapazitätsausnutzung
- Anteil an standardisierten Teilen
- Manipulierbarkeit

10. Innovieren von Herstellungssystemen

10.1. Methodische Aspekte

Das Produktionssystem ist eine strukturierte Menge von Ressourcen, deren Funktion es ist, Investitionen (Rohmaterial, Halberzeugnisse, Energie...) in gewünschte Produktionsleistungen (Produkte und Services) umzuwandeln.

Hauptkomponenten:

- Objekte für welche die erforderlichen Umwandlungen vorzunehmen sind (Material, Komponenten),
- Aktiv Handelnde (Betreiber), welche die Umwandlung vornehmen, zB Menschen, Maschinen, Apparate, physikalische Umwelt,
- Prozesse, welche Formen, Dimensionen, Konfigurationen und Positionierungen verändern,
- Investitionen und Produktionsleistungen, sprich Komponenten, Verbindungen zur Umwelt
- Material-, Energie- und Informationsflüsse, welche die Gesamtarchitektur des Systems bilden und dessen Komponenten zu einem Ganzen verbinden,
- Hilfskomponenten, welche nicht direkt in die Leistungserbringung involviert sind, aber die Bedienbarkeit des Systems sicherstellen (Wartung, Werkzeuge...)
- Raum und Zeit als unvermeidbare Attribute jedes Systems.

10.2. Model des Herstellungssystem

Es ist wichtig, zwischen Systemvarianten zur Innovationsplanung in Herstellungssystemen zu unterscheiden. Die Hauptklassifizierung ist:

- **Produktionsobjekte**
 - Material-intensive Produktion
 - Verarbeitung
 - Kundenproduktion
 - High-Tech-Produktion
- **Vorherrschende Technologien**
 - Veränderungen der Form, Dimensionen und Eigenschaften von Materialien

- Strukturelle Veränderungen, technische Verarbeitung und Montage
- Positionsveränderung und Ausrichtung (Logistik)
- Informationsverarbeitung (Services)

- **Produktionsumfang**
 - Stückproduktion
 - Serienfertigung (Produktionseinheiten von bis zu ein paar tausend Stücken)
 - Massenfertigung (Produktionseinheiten mit über zehn Tausend Stücken)

- **Spartenzugehörigkeit und -produktion**
 - Produktion von Transportausrüstung
 - Maschinelle Anlagen und Ausrüstung
 - Herstellung von Konsumgütern

- **Komplexität und Sortiment**
 - Spezialisierung auf Komponentenerzeugung
 - Spezialisierung auf Komplexerzeugung
 - Spezialisierung auf Produkterzeugung
 - Breit gefächerte Produktion

Hauptaufgaben im Zuge der Innovation von Produktionssystemen

- Festlegen der totalen Produktionskapazität des Systems,
- Unterteilen der Kapazität in funktionale oder technische Einheiten,
- Entwurf von Umwandlungsprozessen (Technologie),
- Vorgeben der Herstellungsinstrumente (Technologie, Menschen) für die Implementation von Technologie in die einzelnen Komponenten,
- Festlegen, was selbst produziert und was zugekauft wird,
- Der Gesamtentwurf des Systems, Investitionen, Produktionsleistungen, Material-, Energie- und Informationsfluss.

Um noch ein paar weitere wichtige Parameter von Produktionssystemen zu nennen:

- Automatisierungsgrad
- Prozesskontinuität
- Standardisierungsgrad
- Grad des Spezialisierungsmanagements
- Ökologische Auswirkungen

10.3. Der Innovationsprozess von Produktionssystemen

Entstehungsphase

- Anforderungsanalyse und Festlegen bestimmter Ziele
- Aufschlüsseln der Umwandlungsabläufe
- Festlegen der Kapazitäten der Produktionsquellen
- Detailanalyse der Operationen, Verfahren und eingesetzten Technologie
- Die räumliche Anordnung der Produktion
- Organisation und Kontrolle der Produktion
- Projektdokumentation

Umsetzungsphase

- Vorbereitung der Raum- und Netzwerkinfrastruktur
- Lieferungen von technischer Ausrüstung und deren Montage
- Einpassung des Produktionssystems
- Wiederaufnahme der Arbeit und Tests
- Vorbereitung bzw. Schulung des Personals
- Probetrieb
- Laufender Betrieb, laufende Wartung und Weiterentwicklung

10.4. Technische Innovation

Technologie wird als eine Reihe von Prozessen, Mustern, Regeln und Gewohnheiten definiert, welche in der Herstellung verschiedener Arten von Produkten aus den unterschiedlichsten Bereichen zum Einsatz kommen. Die Technologie bestimmt im Wesentlichen, auf welche Art und Weise (Roh-)Materialien und Halberzeugnisse in marktreife Produkte überführt werden.

Zu den Hauptkomponenten des Produktionssystems gehören:

- Technische Verarbeitung
 - Veränderung geometrischer, physikalischer und anderer Eigenschaften der hergestellten Objekte (Reihenfolge von Objektveränderungen).
- Manipulation
 - Veränderung der Platzierung, Ausrichtung und Befestigung von Objekten (Materialfluss)

- Management, Informationsmanagement
 - betrifft alle Aktivitäten, welche mit der Koordinierung, Synchronisierung und Optimierung der Herstellung zusammenhängen (Informationsfluss).

Anforderungen, die an das Innovieren moderner, kundenorientierter Produktion gestellt werden:

- Deutlicher Anstieg der Produktivität und Qualität
- Zurückfahren des Ressourcenverbrauchs (Arbeit, Material, Energie und Kapital)
- Flexibilität des Produktionssystems
- Umweltforschung und Einsatz recyclebarer Materialien
- Voraussetzungen für eine hochstehende Verarbeitungskultur (Beseitigung schwerer, gefährlicher, eintöniger und anderweitig unzweckmäßiger Arbeiten)
- Innovationen auf der Durchführungsebene technischer Prozesse
- Nutzen des Potenzials, welches die Globalisierung bietet
- Orientierung hin zu abfallarmen, energiesparenden Technologien

10.5. Innovation von Arbeitsprozessen

- Abschaffung kritischer Arbeitsprozesse
 - Arbeitsprozesse, in deren Zuge Produkte mit minderwertiger Qualität erzeugt werden
 - Langzeit-Betrieb, welcher zu fehlender Synchronität von Abläufen führt
 - Kostenintensive Arbeitsabläufe
 - Arbeitsabläufe, welche oft zu Fehlern und Produktionsausfällen führen
- Optimierung von Arbeitsabläufen
 - Reihenfolge von Betriebsschleifen
 - Minimierung der Produktionskosten
 - Einbindung technischer, manipulierbarer und informationsgenerierender Komponenten in den technischen Prozess

10.6. Innovation basierend auf Automatisierung und Ökologisierung

Automatisierung ist ein Prozess, in welchem die physische und geistige Aktivität einer Person durch die Tätigkeit eines technischen Hilfsmittels ersetzt wird. Aktuellere Definitionen betrachten Automatisierung als eine Technologie, welche Programminstruktionen und Geräte nutzt, um vorgegebene Prozesse auszuführen und gleichzeitig durch die

Rückgabe von Informationen sicherstellt, dass die Anweisungen korrekt ausgeführt werden.

Die numerische Steuerung von Maschinen (NC und CNC), Industrierobotern und automatischer Manipulatoren, flexible Transportsysteme und deren Einbindung in automatisierte Zellen, Systeme und Fabriken stellt die wichtigste Richtung der Innovation von Produktionssystemen dar.

Zu den Vorteilen der Automatisierung gehören:

- weniger Arbeitsaufwand
- gleichbleibende Qualität
- Ausbau der Führungsebene
- Synchronisierung von Abläufen
- Material- und Energieersparnis

10.7. Abfallarme und energiesparende Technologien

Materialersparnis

- Einsatz neuer Materialien (untüchtig, billiger, leistungsfähiger und besser recyclebar)
- Einsatz veredelter Materialien (Legierungen, hitzebehandelte und Verbundwerkstoffe) mit geringerem Gewicht für vorgegebene Funktionen
- Einsatz von Halberzeugnissen mit besseren Grundeigenschaften (zB Präzisionsguss)
- Einsatz von werkzeug- und produktschonender Technologie
- Recyclen von Müll direkt im Herstellungsprozess
- Erneuerung von Werkzeugen und ausrangierten Ausrüstungsteilen
- Verringern des Anteils nicht wieder in Ordnung zu bringenden Durcheinandern

Energieersparnis

- Auswahl von Materialien und Technologien unter Berücksichtigung des Energiebedarfs
- Lastensteuerung, automatisches Abschalten von Maschinen usw.
- Verringerung von Reibung (Schneidflüssigkeiten, Schmierstoffe), Wärmeisolation usw.
- Abwärmennutzung im Zuge der technischen Verarbeitung

11. Businessplan

11.1. Projektumsetzungsplan

Die Umsetzungsphase beginnt mit der Entscheidung darüber, ob das Projekt akzeptiert wird oder nicht. Im Anschluss daran werden die technische Dokumentation ausgearbeitet, Verträge verhandelt und abgeschlossen, das eigene Investitionskonstrukt erstellt und die Produktionseinheit aufgesetzt. In all diesen Phasen finden dutzende bis tausende Subaktivitäten statt, welche ineinandergreifen und koordiniert werden müssen.

Der Umsetzungsplan für das Projekt sollte vor allem vorgeben:

- Aktivitäten, welche sicherzustellen sind
- Zeiträume, in welchen die Aktivitäten abgeschlossen werden müssen
- Personen, welche für die Ausführung der einzelnen Aktivitäten verantwortlich sind
- Ressourcen, welche die Ausführung der Aktivitäten erfordern wird
- Ergebnisse, welche mit den einzelnen Aktivitäten erzielt werden sollen
- Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Aktivitäten
- Aktivitäten, welche sich maßgeblich auf den Projekterfolg auswirken und daher besondere Aufmerksamkeit benötigen

11.2. Syllabus eines Businessplans

- Der Businessplan (PZ) ist ein maßgeblicher Teil des Projekts: Er sollte alle relevanten Eckpunkte eines Projekts mit ausreichender Überzeugungskraft beschreiben. Daher sollte er nicht nur als Leitfaden für die AntragstellerInnen dienen, sondern auch für jene, die darüber entscheiden, ob ein Projekt akzeptiert wird oder nicht.
- Der empfohlene Businessplan wird so entworfen, dass er seinen Begutachtern die Antworten auf all jene Fragen liefert, welche hinsichtlich der Beurteilung des Projekts wichtig sind. Der CA sollte keine Daten enthalten, welche für den Antrag (Projektidentifizierungsdaten usw.) benötigt werden, aber die Antragsstellern sollten sich in den relevanten Kapiteln darauf beziehen.
- Der PZ sollte inhaltlich nicht mehr als 30 Seiten umfassen.

A) Kurze Zusammenfassung des Projektinhalts

- maximal drei Seiten (nur die wichtigsten Fakten sowie die Beschreibung der Projektorts)

B) Notwendigkeit und Relevanz des Projekts

- Fokus auf die Aktivitäten der AntragstellerInnen, was die Sicherstellung der technischen Perfektion von Produkten anbelangt,
- Ausführungsort des Projekts,
- Erwarteter Innovationsgrad von Ergebnissen der Forschung und Entwicklung (F&E)
- Verfolgt das Projekt mitunter den Zweck, die Umwelt zu schützen oder zu verschönern? Führt das Projekt dazu, dass sich die Umwelt von Altlasten erholt?
- Beschreibung der aktuellen Beschäftigung und des Profils der AntragstellerInnen:
- Beschreibung des von den Antragstellern erdachten Innovationsprozesses und dessen historischer Entwicklung

C) Bereitschaft der AntragstellerInnen, das Projekt umzusetzen

- Die Machbarkeit des Projekts im Hinblick auf die Beschreibung der Investitionsprojekte und deren Finanzierung, welche die AntragstellerInnen in den letzten drei Jahren übernahmen, die Art der Projektumsetzungsorganisation
- Kennzeichen der Funktionen des Subsystems
- Aufstellung des bereits sichergestellten materiellen und immateriellen Kapitals, welches in den Projektfonds für Tätigkeiten der Forschung & Entwicklung reserviert ist, im Verhältnis zum Gesamtbudget des Projekts, sowie die Vorgabe ihrer technischen Parameter und dem erwarteten Höchstpreis,
- Aufstellung aller geplanten Ausgaben, welche keine Investitionen sind
- Sicherheit, dass man über genügend qualifiziertes Personal verfügt
- Technische Machbarkeit der Projektumsetzung, Kontinuität der Lösungsphasen
- Partner für das Projekt
- Beschreibung und Klassifizierung bestehender Forschungskapazitäten (F&E-Abteilung) im Organigramm der AntragstellerInnen, die Methode ihrer Verwaltung
- Begründung für die Finanzierung oder deren Verlängerung und der erwartete Mehrwert für die AntragstellerInnen

D) Beitrag des Projekts zur Weiterentwicklung und Wettbewerbsfähigkeit der AntragstellerInnen

- Die geplante Art und Anzahl von VIK-Ergebnissen (Forschungslösungen, welche zu neuen Produkten und Prozessen führen, verwirklichten Ergebnissen der F&E in Form von Innovationen, Prototypen, Verfahren, Patenten, Lizenzen) und klar definierte Veränderungen technischer Parameter gegenüber bestehender F&E-Ergebnisse in Bezug auf ihre Umsetzung und Marktauglichkeit

- Quantifizierung und logische Rechtfertigung des wirtschaftlichen Nutzens der Projektlösung für die AntragstellerInnen
- Zukünftige VIK-Involvierung in externe gewerbsmäßige Zusammenarbeit
- Der Einfluss der Projektumsetzung auf die zukünftige Entwicklung der AntragstellerInnen sowie potenzielle wirtschaftliche und nicht-ökonomische Vorteile

E) SWOT-Projektanalyse und Finden von Antworten auf die Schwächen und Risiken des Projekts

F) Die grundlegenden Vorzüge, welche in den Selektionskriterien beschrieben sind

12. Serienfertigung und Marketing, Produktlebenszyklus

12.1. Serienproduktion und Marketing

- Die Herstellung ist ein entscheidender Faktor für den Erfolg eines Unternehmens. Hier zeigt sich, wie sich die Ideen von Designern und TechnikerInnen in die Realität umsetzen lassen. Wenn in der Herstellung etwas falsch läuft, kann ein Unternehmen nicht konkurrieren. Die Herstellung ist daher die strategische Waffe jedes Unternehmens. Ihr Einsatz entscheidet darüber, ob ein Unternehmen erfolgreich ist oder scheitert.
- Die Fertigung ist die zielgerichtete Aktivität einer Person, in deren Zuge Produktionsinvestitionen in Produktionsleistungen umgewandelt werden.
- Zu Produktionsinvestitionen zählen zB. Rohmaterial, Energie, Material und Halberzeugnisse, welche Unternehmen in ihren Herstellungsprozessen verwenden.
- Produktionsleistungen sind Erzeugnisse, welche entweder zur Weiterverarbeitung oder zum Konsum dienen.
- Produkte, welche für die Weiterverarbeitung verwendet werden, nennt man Zwischenprodukte oder Halberzeugnisse. Produkte, welche für den Konsum bestimmt sind, nennt man Endprodukte.

Jede Produktion umfasst fünf Hauptelemente. Bei diesen handelt es sich um:

- Die herzustellenden Objekte – Produkte,
- Die mit der Herstellung beauftragten Subjekte – ArbeiterInnen, Maschinen, Werkzeuge,
- Die Methoden – Mittel und Wege zur Ausführung von Aktivitäten,
- Der Ort – an dem die Aktivitäten ausgeführt werden und an den die fertigen Erzeugnisse transportiert werden,
- Die Zeit – der Zeitverlauf und die Dauer von Aktivitäten.

Arten der Produktion

Unter einer Produktionsart versteht man die Summe der technischen Merkmale der Herstellung, welche sich aus den charakteristischen Merkmalen und der technischen sowie ökonomischen Funktion des gefertigten Produkts ergibt. Das Kriterium, um das Wesen jeder Produktionsart zu definieren, ist der Grad der Reproduzierbarkeit bzw. der

Grad, zu welchem der Produktherstellungsprozess innerhalb eines festgelegten Zeitraums unverändert bleibt. Man unterscheidet zwischen drei Arten der Produktion:

- Massen-,
- Serien-,
- Stückproduktion.

12.2. Massenproduktion

Als Unternehmen der Massenproduktion bezeichnet man vor allem jene Betriebe, die gemeinhin nur ein Produkt oder eine geringe Anzahl an Produkten herstellen. Diese Unternehmen weisen den höchsten Grad an Reproduzierbarkeit auf, ihr Produktionsprogramm bleibt überwiegend immer gleich und sie verwenden spezielle Produktionsanlagen für einen Produkttyp.

12.3. Serienproduktion

Die Serienproduktion ist die gebräuchlichste in Unternehmen. Gekennzeichnet ist sie dadurch, dass mehrere Produkte hintereinander in begrenzter Stückzahl (Serie) auf denselben oder anderen Produktionsanlagen gefertigt werden.

Die Hauptmerkmale der Serienproduktion können werden zusammengefasst in:

- Im Wesentlichen ähnelt das Serienprodukt einem Produkt aus der Massenfertigung, mit dem Unterschied, dass bei der Herstellung einer begrenzten Menge die Einzigartigkeit eines Produkts hervorgehoben werden kann und sich dieses leichter an geänderte Anforderungen des Marktes anpassen lässt.
- Die technische Vorbereitung der Fertigung ist vergleichbar mit jener der Massenproduktion, sie ist jedoch nicht so detailliert, was die Breite des Sortiments und die Produktauswahl anbelangt.
- In der Serienproduktion ist die Arbeitsteilung nicht so groß wie in der Massenproduktion, weshalb ArbeiterInnen universell einsetzbar sind.
- Der produktive Anteil der Arbeit fällt jedoch auch geringer aus.
- Der Herstellungsprozess ist komplexer organisiert und kostenintensiver.
- Produkte werden in Schüben hergestellt und Produktteile werden in Schüben der Herstellung zugeführt.

Abhängig vom Grad der Reproduzierbarkeit unterscheidet man bei der Serienproduktion:

- Groß-Serien,

- Mittleren Serien,
- Klein-Serien.

12.4. Art der Stückproduktion

Das grundlegende Merkmal, welches die Stückproduktion kennzeichnet, ist die nicht gegebene Reproduzierbarkeit von einzelnen Produktarten oder Arbeitsweisen – entweder allgemein oder nach einer gewissen Zeit.

Die Stückproduktion ist durch diese Individualitäten gekennzeichnet:

- Individuell gefertigte Produkte unterscheiden sich voneinander, jedes Produkt entspricht einer neuen Art und Weise der Erfüllung von Kundenvorstellungen.
- Aufgrund der oben genannten Eigenschaften benötigt jedes Produkt eine eigene technische Vorbereitung der Herstellung, die sehr anspruchsvoll, umfangreich und kostenintensiv ist.
- Häufiges Ersetzen oder Anpassen von Arbeitsstätten, Modifizieren von Maschinen und Ortswechsel, höherer Zeitaufwand und mehr Arbeitsunterbrechungen.
- ArbeiterInnen übernehmen verschiedene Aufgaben, wodurch sie vielseitiger werden und eine höhere Qualifikation benötigen.
- Hierbei handelt es sich um die niedrigste technische Herstellungsebene.
- Hohe Kosten, welche mit der Materiallagerung und dem hohen technologischen Fortschritt der Herstellung in Verbindung gebracht werden.
- Unregelmäßige Verwendung von Fertigungsanlagen.

Platzierung des Produkts auf dem Markt

Die Regulierungen, welche in der Aufsichtskompetenz des CTI liegen, legen das Produkt-Marketing fest. Dies betrifft insbesondere Verordnung Nr. 102/2001 Coll. hinsichtlich der Produktsicherheit sowie Verordnung Nr. 22/1197 Coll., welche sich auf die technischen Anforderungen an ein Produkt bezieht.

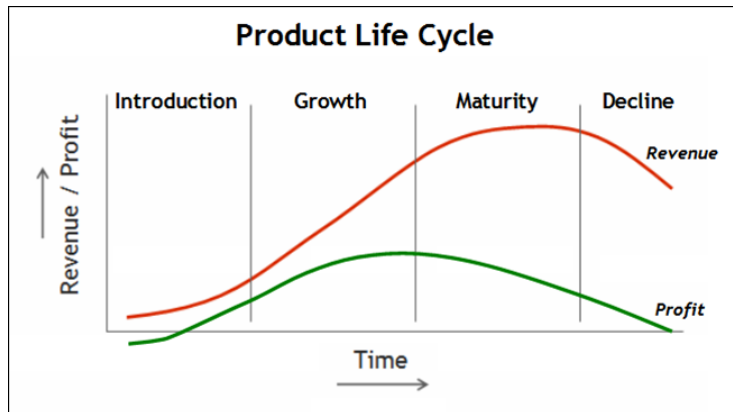
12.5. Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus wird in zwei Kontexten verwendet:

- Die Produktlebensdauer von überschüssigem Rohmaterial, welches im Zuge der Produktion bzw. anderweitiger Verwendung anfällt und als Müll beseitigt wird (LCA).
- Die Produktlebensdauer in einem Unternehmen von der Produkteinführung über das Sinken des Kaufinteresses bis zu jener Phase, in der ein Produkt vom Markt genommen wird.

Der Produktlebenszyklus beschreibt grafisch eine S-Kurve.

- Produkteinführung
- Wachsendes Interesse am Produkt
- Bestehendes Interesse und Produktreife
- Abnehmendes Interesse am Produkt



Produkteinführung

- In dieser Phase wird das Produkt auf den Markt gebracht.
- Zunächst sind die Kosten klarerweise höher als die Erlöse.
- In dieser Phase wird die richtige Strategie für den Markteintritt des Produkts ausgewählt:
 - Strategie der schnellen Lukrierung von Einkünften
 - Strategie der langsamen Lukrierung von Einkünften
 - Strategie des schnellen Eindringens in den Markt
 - Strategie des langsamen Eindringens in den Markt

Wachstumsphase

- In dieser Phase steigt die Nachfrage nach diesem Produkt. Die Fertigung läuft auf Hochtouren und man ist darum bemüht, die Popularität des Produkts aufrecht zu erhalten.
- KundInnen, welche das Produkt gekauft haben, potenzieren den Werbeeffect, indem sie es ihren Freunden empfehlen. Diese Mundpropaganda ist ein Segen für Unternehmen, da es sich um eine der effektivsten (und zugleich um eine kostenlose) Werbemaßnahmen handelt.
- Der Preis für das Produkt verändert sich in dieser Phase nur bei jenen Händlern, welche in einer früheren Phase niedrige Preise als Lockmittel eingesetzt haben.
- Die in dieser Phase erwirtschafteten Einnahmen dienen zur weiteren Modifizierung des Produkts.

Reifungsphase

- Sie ist gekennzeichnet durch ein konstantes Wachsen oder Sinken der Verkaufszahlen → die Verkaufszahlen stabilisieren sich.
- Bei dieser Phase handelt es sich um die längste im Leben eines Produkts.
- Tritt auf dem Markt eine Sättigung mit dem eigenen Produkt ein, reagiert man darauf mit Preissenkungen, damit sich auch all jene das Produkt leisten können, welche es noch nicht haben.
- Es ist gut, eine neue Anzeigenkampagne zu schalten, um erneut auf das Produkt aufmerksam zu machen.

Phase der Produktabschwächung

- Hierbei handelt es sich nicht um kurzfristige Ertragseinbußen, sondern einen langfristigen Trend hin zu Verlusten.
- In dieser Phase wird die Produktion eingestellt, Restbestände im Lager werden jedoch noch nicht vernichtet.
- Sie werden von dem Unternehmen als Ersatzteillieferanten für Servicereparaturen bereits verkaufter Produkte verwendet. Es wird empfohlen, solche Produkte über einen Zeitraum zu lagern, welcher der zehnfachen Produktlebensdauer entspricht.

MECHANICAL ENGINEERING - ENGLISH

INTRODUCTION

The presented technical book “Study material for the field of mechanical engineering” was prepared within the project “Methodological Concept for Effective Support of Key Professional Competencies Using a Foreign Language - CLIL as a Teaching Strategy at a University” implemented with the financial support of the European Union programme INTERREG VA Austria - Czech Republic 2014 - 2020.

The project is realized in cooperation of two technically oriented higher education institutions, the Institute of Technology and Business in České Budějovice, the Czech Republic, and the University of Applied Sciences, Upper Austria. One of the main project outputs was the preparation of professional didactic materials for four technical disciplines (Informatics, Logistics and Transport, Mechanical Engineering, and Civil Engineering) taught at the partner institutions in three languages: Czech, German and English. As a teaching method, CLIL (Content and Language Integrated Learning) was chosen, as it combines teaching of content and a foreign language. Thus, the prepared materials are of great importance not only as teaching and learning material used by teachers and students at the above-mentioned technical universities, but they can also be used by experts in specific fields and employees of companies operating in the cross-border region, who thus have the opportunity to improve their professional language skills.

Teachers from both partner institutions and practitioners from both border regions participated in the preparation of the materials. Materials in the field of Mechanical Engineering were prepared by teachers of content subjects at both partner universities. Their topics were selected and consulted in cooperation with practitioners. A total of twelve topics were prepared for this purpose: Introduction to mechanical engineering technologies, Engineering technologies 1, Engineering technologies 2, Engineering technologies 3, Technology of die casting of metals, Moulds and casting, Machine elements and mechanics, Materials in machine industry, Machine operation and maintenance, Sheet metal forming, Statics, Innovative processes. The topics were chosen to meet the needs of practice and to cover the widest possible range, from the basics and theory to specific issues, there are also topics with interdisciplinary overlap. Moreover, each of the topics is divided into sub-chapters so that it is possible to study the module as a whole or to choose only some chapters to study. The materials prepared are available online, allowing each student and teacher to compile the course or teaching content according to their specific needs.

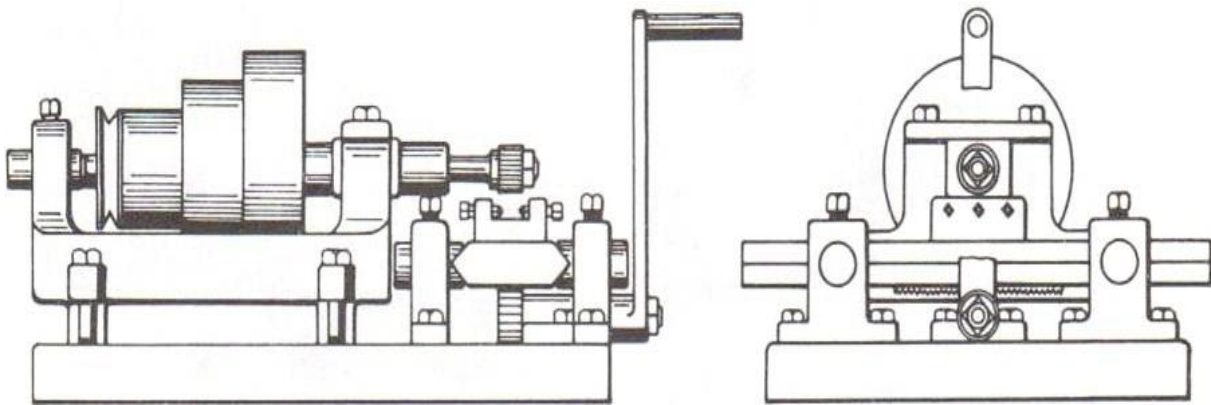
As mentioned above, the materials have been prepared in three languages. Each topic prepared by content teachers was subsequently processed by linguistic experts in order to comply with the principles of the CLIL method and to acquire not only professional but also language skills. Currently, knowledge of a foreign language appears to be crucial for finding a suitable job. This publication can thus serve not only for content teachers and university students, but also for graduates and employers and employees of companies operating in the above-mentioned disciplines both in and outside the cross-border region, which represents its considerable added value.

INTRODUCTION TO MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGIES

1. Introduction to engineering technology

- A simple grinder appeared in 1480. Its drive was with a pedal and a crank with a connecting rod.
- In 1565, the first ironing machine appeared, followed by a water-drill (1684).
- Individual machines have improved, for example, a metal lathe with a support, which allowed to cut threads, appeared after 1800.

In 1818, the first milling machine was drawn by S. Mortha



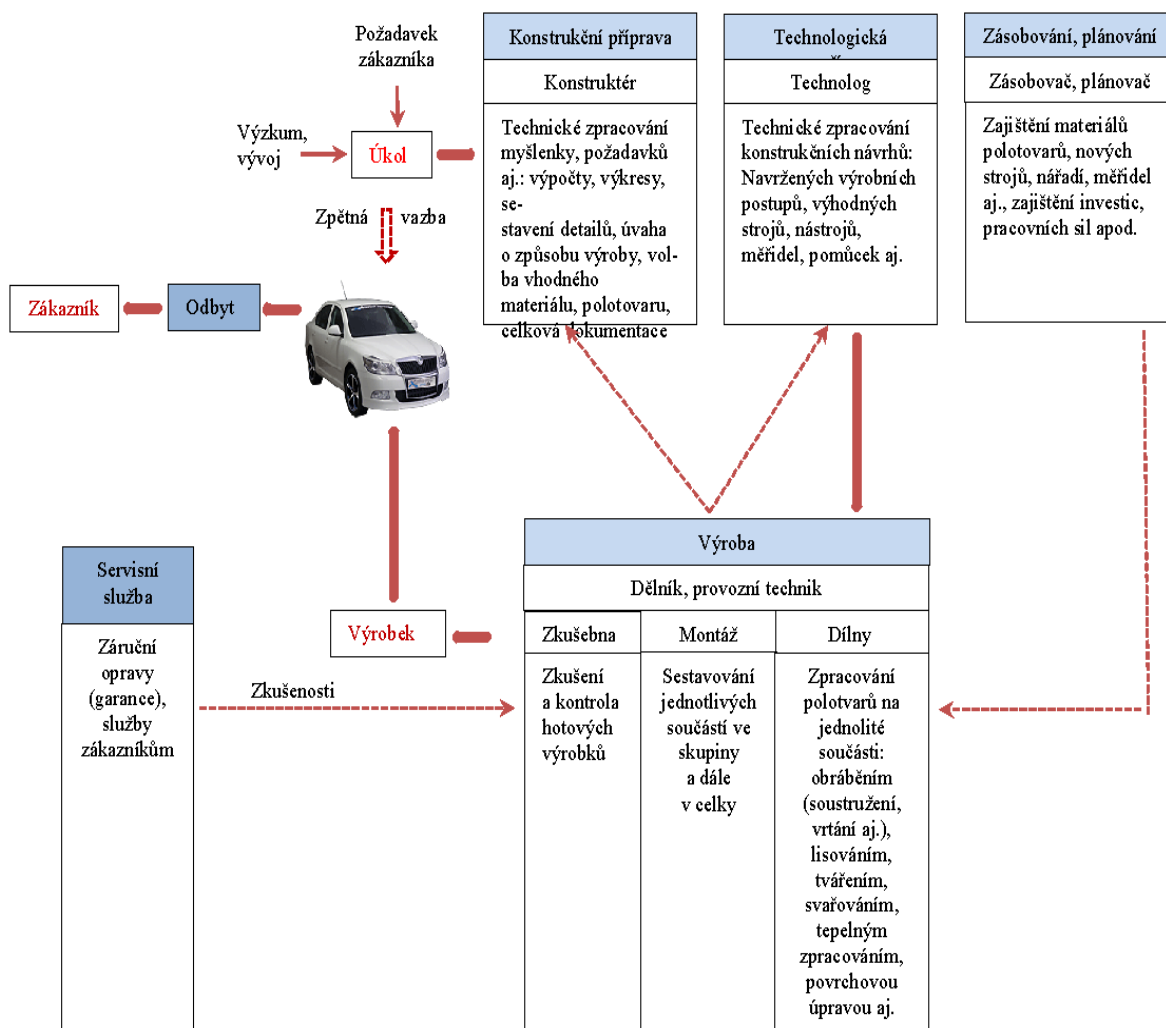
1.1. Engineering Technology I

- Is an introductory subject which provides an introductory explanation of the technology used in engineering. A more detailed introduction to engineering technologies will be provided in other specialized courses provided by the Department of Mechanical Engineering.
- **Metallurgy** deals with the management of raw materials on the material and its properties. This part of the technology is divided into heavy metallurgy and engineering metallurgy. Heavy metallurgy deals with the production of ferrous and non-ferrous metals from ores, powdered metals and the management of manufactured metals on semi finished products (sheets, rod, wire, etc.).
- **Machine-building metallurgy** is characterized by the production of semi finished products by casting, molding, heat treatment (changes in the internal structure of

the material such as hardening, brining, tempering) and non-releasable joining of materials (welding, soldering).

- **Machining technology** addresses machining, assembly and surface treatment technologies.
- **Surface treatment technology** is achieved by changing the look of the product or surface properties.

1.2. Preparation and organization of production



Legend: požadavek zákazníka - customer's requirement, výzkum, vývoj - research, development, zpětná vazba - feedback, úkol - task,

konstrukční příprava - preparation of construction, konstruktér - designer, Technické zpracování myšlenky, požadavků (výpočty, výkresy, sestavení detailů, úvaha o způsobu výroby, volba vhodného materiálu, polotovaru, celková dokumen-

tace) - technical processing of the idea, requirements (calculations, drawing, details, production method, choosing suitable material, semi-finished material, documentation),

Technologická příprava - technology, technolog - technologist, Technické zpracování konstrukčních návrhů (navržených výrobních postupů, výhodných strojů, nástrojů, měřidel, pomůcek, aj.) - technical processing of designs (production methods, suitable machines, devices, measuring tools, aids, etc.)

Zásobování, plánování - supply, planning, zásobovač, plánovač - stock provider, planner, zajištění materiálů, polotovarů, nových strojů, nářadí, měřidel aj., zajištění investic, pracovních sil apod. - ensuring materials, semi-finished products, new machines, tools, measuring tools, etc. , insuring finance, workforce, etc.

zákazník - customer, client, odbyt - sale

servisní služba - service, záruční opravy (garance), služby zákazníkům - repairs under guarantee, customer service

výrobek - product

zkušenosti - experience

výroba - production, dělník, provozní technik - operations technician, zkušebna - testing room, zkoušení a kontrola

hotových výrobků - testing and checking finished products, montáž - assembly, sestavování jednotlivých součástí ve

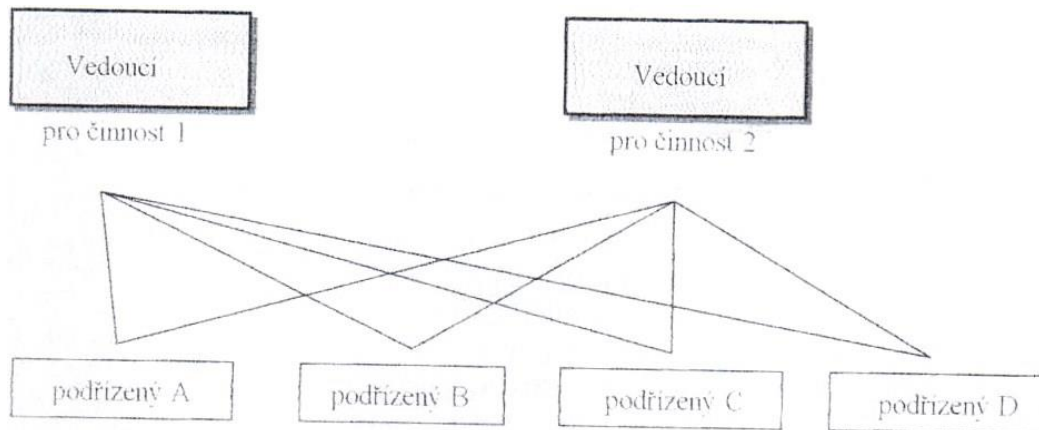
skupině v celky - mounting individual parts into sets, dílny - workshops, zpracování polotovarů na jednotlivé součásti:

obráběním (soustružení, vrtání), lisováním, tvářením, svařováním, tepelným zpracováním, povrchovou úpravou - machining (turning, drilling), pressing, forming, welding, heat processing, surface treatment

1.3. Organizational structure of the enterprise

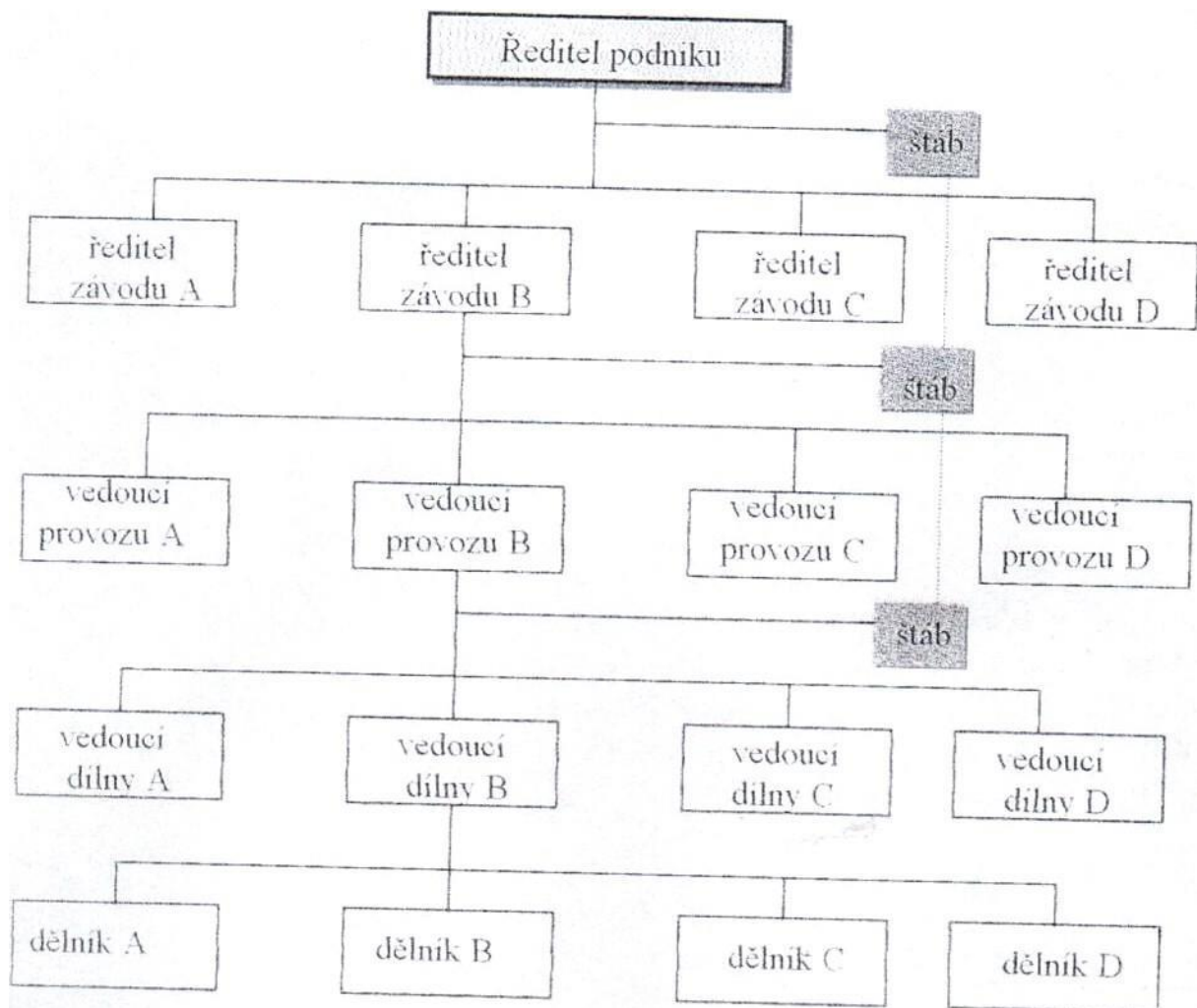
- Functional with multiple subordination
- Staff
- Divisional
- Combined

Functional with multiple subordination



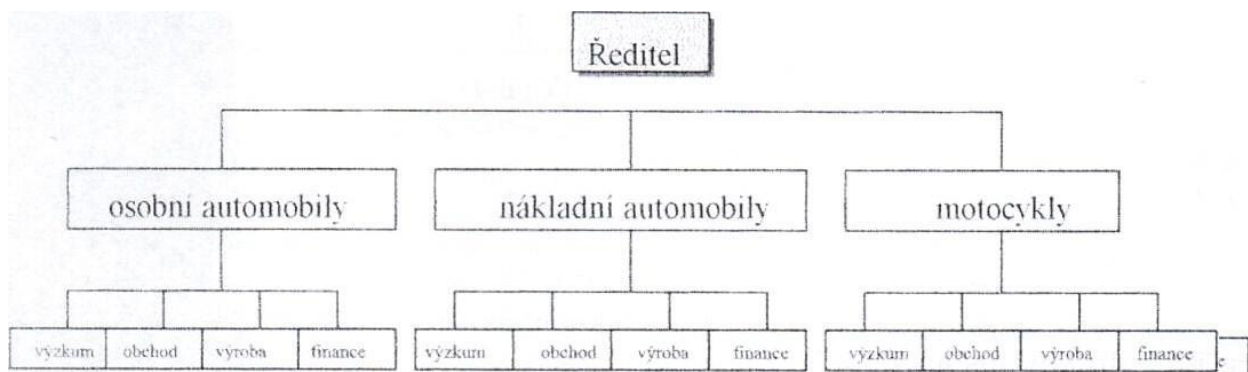
Legend: vedoucí - head (superordinate, boss), pro činnost 1 - for activity 1, podřízený - subordinate

Staff structure



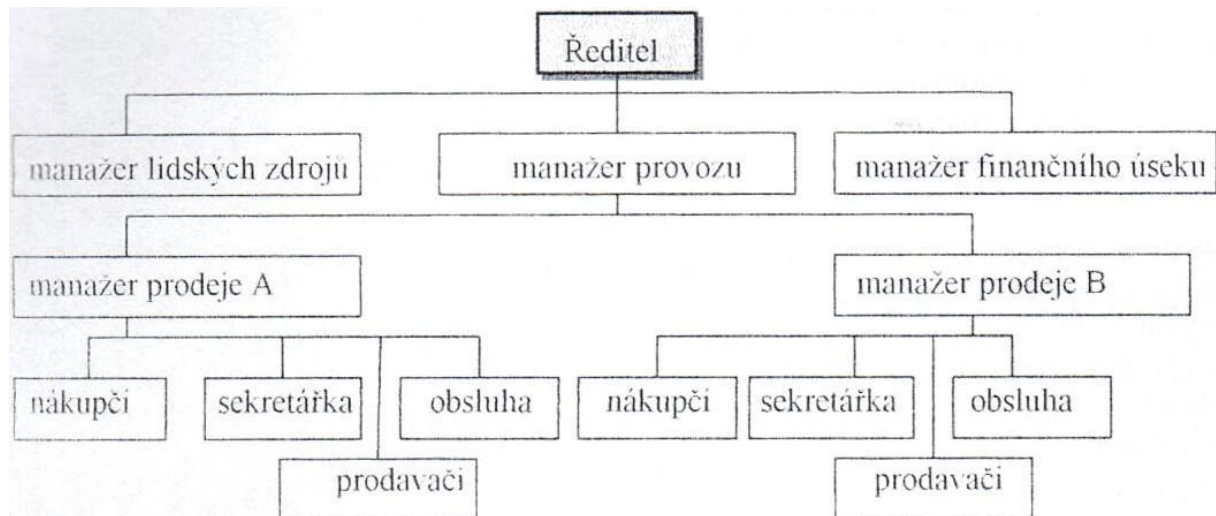
Legend: ředitel podniku - company director, štáb - team, ředitel závodu - director, vedoucí provozu - operation head, vedoucí dílny - head of workshop, dělník - worker

Divisional arrangement



Legend: ředitel - director, osobní automobily - passenger cars, nákladní automobily - trucks, motocykly - motorbikes, výzkum - research, obchod - trade, sales, výroba - production, finance - finance

Combined structure

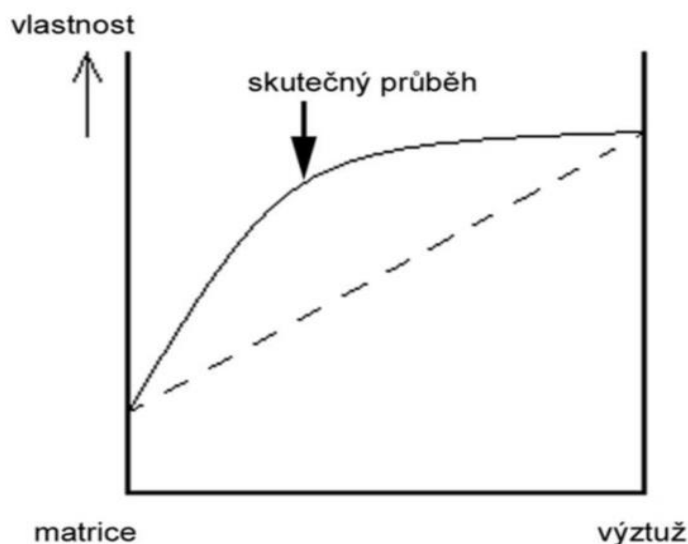


Legend: ředitel - director, manažer lidských zdrojů - human resources management, manažer provozu - operations manager, manažer finančního úseku - finance department manager, manažer prodeje - sales manager, nákupčí - purchaser, sekretářka - assistant, obsluha - service, prodavači - sales assistants

2. Composite materials

A composite can be defined as a material consisting of two or more heterogeneous constituents. These components differ in their mechanical, physical and chemical properties. In general, the composite material consists of a continuous and discontinuous phase. The continuous phase is called a matrix, and in the composite structure its main task is to act as a binder. The discontinuous phase is called reinforcement and has a reinforcing function in the composite.

2.1. Synergism



Legend: vlastnost - property, matrice - matrix, výztuž - reinforcement, skutečný průběh - actual course

2.2. Polymer composite materials

The properties of composite materials point to the perspective of these materials not only for engineering but also for other industries. The basic feature of composite material is the low weight of composite components while maintaining high mechanical properties. Composites can be matched with steel in terms of mechanical properties.

Advantages of polymer composite materials

- High flexibility in deformation
- High strength and stiffness that can be adapted to the direction and type of load
- High adaptability to every shape
- High resistance to dynamic stress at high mechanical damping
- Low coefficient of linear thermal expansion
- Resistance to aging and corrosion
- A great possibility to combine different types of matrix and reinforcement, creating a "tailor-made"
- Great weight loss against steel products.

(Carguideblog, 2013)

Disadvantages of polymer composite materials

- There is no standardized composite because of the many possibilities of combining the matrix and the reinforcement
- It is not possible to accurately estimate the behavior of the composite material (it is not possible to easily read the properties of the individual components)

- Complex material testing (if non-destructive testing is a condition)
- Low tensile strength in the direction perpendicular to the orientation of the fibers (cracks, weak connection of the fiber and the matrix)
- Complex repairs and machining of composite materials after manufacture

(Evaluationengineering, 2006)

2.3. Possibilities of application in the transport industry

Composite materials nowadays find use in almost every industry. In the transport industry, this applies to all modes of transport, ie automobile, rail, air and shipping. The space industry is also ranked here, although it is only marginal to the transport industry.

Automotive

In this transport sector, composite materials are produced for example, dashboards, axles, body parts, bumpers, headlamp covers, drive shafts, seats, cockpits, ...

In the automotive industry, composites are used due to their mechanical properties and to reduce the weights of the individual components and thus the whole car

Aerospace and aerospace industry

Even today, a large percentage of innovations in the field of composite materials are used in the aerospace and space industries. This is again because of weight reduction, which results in a reduction in fuel consumption. The latest developed composites are used in the military, that is, most of the aviation. An example of use in the military industry is the fact that composite material can partly absorb radar waves.

In transport aviation composite materials are applied to propellers, wings, radar technology, hulls of aircraft, but also to the interior.

Material composition of Boeing 787 Dreamliner



Rail transport

The main aspect is weight reduction (not only weight but also easier handling) and excellent mechanical properties (high stiffness and strength, fire resistance, etc.). Another great advantage and feature is the low maintenance requirement. The use is very wide on both locomotives and wagons. Specifically, it is a rough construction, front and rear front, front, rear panel, ceiling and wall paneling, interior composites, dashboard, etc.

Use of composite hoods on the train set



2.4. Forms

Mold production is based on several of the following criteria:

- form size, complexity and geometry,
- accuracy and surface quality, maximum cost limit
- required durability: number of pieces produced

Formal Claims especially for manual layout and vacuum infusion:

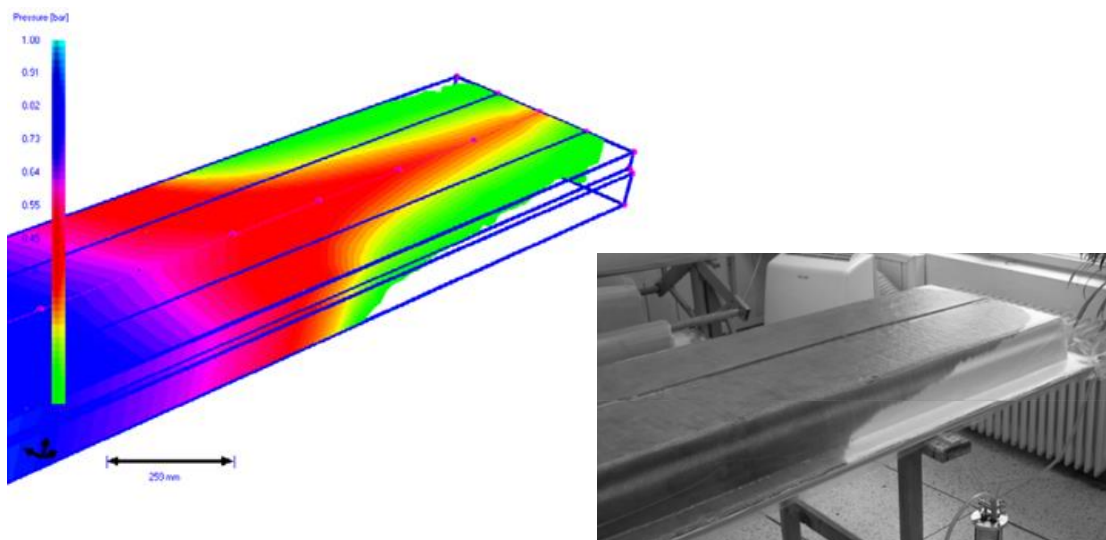
- low weight due to form manipulation

- dimensional stability at temperatures around 80 ° C, mobile execution

2.4.1. Process and realization of mold production

The entered future product is first modeled in 3D and 2D software. According to the requirements, a model is then created, which is then used for production. Subsequently, the finite element method (FEM) is used to optimize production. It is a verification method that verifies mechanical properties, deformation, internal tension, stability, binder bonding (speed, time, etc.)

Production of thick-walled composite components



2.5. Forms materials

- Composite (laminates)
- Metal molds
- Other materials

Form for the production of composite components



2.6. Models

The model is an integral part of the manufacturing technology that makes both the mold and the finished part. The model has the shape of a negative geometry of the resulting form. Design dimensions require dimensional allowances. This is the case if the mold surface is machined. For composite models, the surface of the model is lacquered and a separating agent applied for ease of deformation.

Model (prototype) of the future product



Darcy's law on composite materials

$$\frac{Q}{A} = - \frac{K \cdot \Delta p}{\eta \cdot L}$$

Veličina	Jednotka	Popis	Veličina	Jednotka	Popis
Q	m ³ .s ⁻¹	Objemový průtok	Δp	1	Tlakový gradient
A	m ²	Plocha průtoku	η	Pa.s	Viskozita pojivového systému
K	m ²	Permeabilita výstuže	L	m	Penetrovaná délka

Legend: veličina - quantity, jednotka - unit, popis - description, objemový průtok - volumetric flow, plocha průtoku - flow area, permeabilita výstuže - permeability of reinforcement, tlakový gradient - pressure gradient, viskozita pojivového systému - viscosity of binder system, penetovaná délka - penetrated length

Requirements for materials for the railway industry

At present, composite materials are becoming an increasingly important element in the construction. Composites have greatly penetrated into the aviation, shipping and automotive industries, but in the rail industry the use rate of composites is still the smallest. But we can say that they will find and find their place in this industry over time. The main obstacle to mass expansion is the initial high cost of design, calculation and control in simulation programs, but also raw materials and the production of composite components.

Material requirements

At present, there are 8 major requirements for materials in the railway industry:

- Weight
- Mechanical properties
- Safety
- Lifetime
- Maintenance
- Ecology
- Shape properties
- Costs

3. Plastics

Výroba předmětů (výrobků) z polymerních materiálů má některé specifika, které je potřebné zohlednit při navrhování jednotlivých technologických postupů. Rozmanitost vlastností polymerů v závislosti od chemické povahy polymeru a jeho fyzikálního stavu vyžaduje poměrně velkou variabilitu i ve výrobních postupech, v podmínkách zpracování polymerů.

3.1. Polymers

Polymers can be divided into three basic groups:

- Thermoplastics
- Elastomers (rubbers)
- Reactoplasts (formerly called thermosets)

Thermoplastics

Thermoplastics behave like solids at normal temperatures, but at elevated temperatures, highly viscous liquids (in all cases of pseudo plastic), which can be shaped and re-cooled, fix their shape. This process is repeatable, that is, the polymer can be re-heated to re-melt and re-mold.

Elastomers

Elastomers exhibit high elastic deformation at normal temperatures but are capable of flowing at high shear stresses. After cross-linking between macromolecules, the plastic flow of material is suppressed, the polymer becomes highly elastic, very resistant to plastic deformation. The material is generally referred to as rubber.

Reactoplast

Reactoplasts behave like thermoplastics, have very little or no component of elastic deformation, they are usually lightly molded at normal temperatures or at slightly elevated temperatures, and chemical structure changes occur during shaping. In order to stabilize the shape of the article, a chemical crosslinking reaction occurs which can be induced by mixing two reacting components, or only by the influence of an elevated temperature. After the chemical reaction has taken place, a solid material is obtained which exhibits practically no elastic deformation and can not be re-introduced into the plastic state.

3.2. Extrusion

The extrusion of the mixture is an adiabatic process - this process converts mechanical energy into heat. In practice, we are talking about the sub-adiabatic (polytropic) and super adiabatic process of extruding the rubber compound. In the sub-adiabatic process, part of the heat is fed from the external source to heat the mixture to the desired temperature required for good processing of the rubber mixture, and part of the heat is formed by the conversion of mechanical energy.

The extrusion machines are mainly divided according to the type of material to be processed and the different design of the extrusion units. When we know the characteristics of the material and its properties, we can select an extruder with a suitable pressure of the extruded material. [Jahelka, 1969].

According to the method of forming the pressure on the mixture, the extruders are divided into:

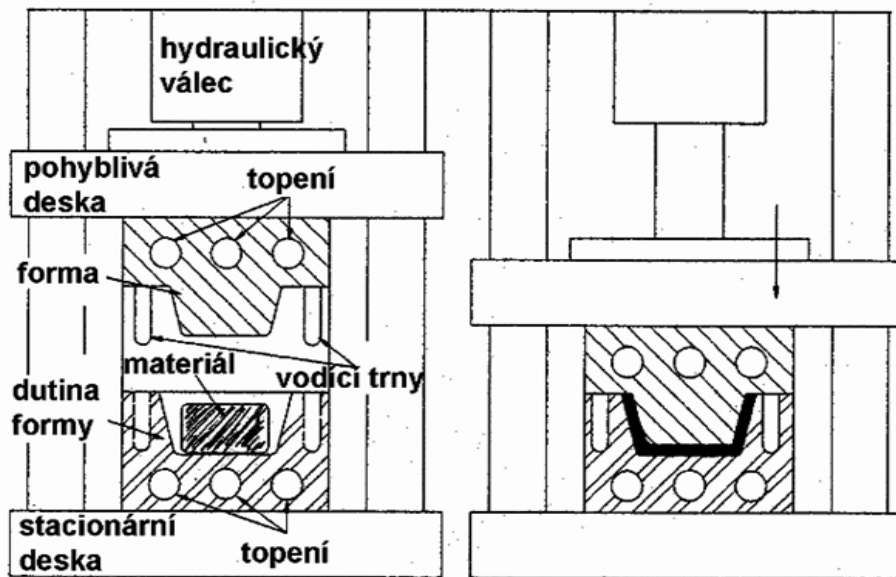
- Disks
- Piston
- Cylinders
- Threaded screws: - One screwdriver
- Two or more screws

3.3. Pressing and overpressing

Pressing is one of the simplest and economically less demanding polymer processing technologies. The principle of molding consists in forming the molten polymer in the cavity of the die and subsequently fixing the shape of the article. The shape fixation depends on the type of polymer being processed. Thermoplastics must be cooled before molding; in the case of thermoplastics and rubber mixtures, chemical reactions - cross-linking, vulcanization must be carried out.

Horizontal injection press

Overpressure is very pressed by its technological layout and process characteristics. The difference between compression and overpressure lies in the design of the mold and the resulting different dosing of the mixture into the mold cavity. The material is dispensed into an auxiliary pressure chamber which is separate from the mold cavity. By pressing the press the piston develops pressure on the mixture, which is then pressed through the nozzles into the mold cavity. The pressure required to fill the mold cavity is lower, which allows the use of vertical openable molds and hence the production of more sophisticated products.



Legend: hydraulický válec - hydraulic cylinder, pohyblivá deska - movable plate, topení - heating, forma - mould, dutina formy - mould cavity, materiál - material, vodící trny - guide pins, stacionární deska - stationary plate

3.4. Injection

The principle of thermoplastic insertion lies in their plasticization, i.e., placing the polymer in a viscous liquid (melt) state and subsequently injecting it into the cooled closed mold cavity. There, the material under cooling cools down and becomes stiff. The principle of molding is identical to the molding except that the melting of the polymer does not take place directly in the mold, and the flow rate of the polymer upon tapping into the mold cavity is substantially higher than that of the molding or overpressure.

Injection machine

An injection machine is a device which allows the molten plastic to be homogenized, and further to inject the melt under pressure into a closed mold. Closed forms must be secured against openings by a force that is greater than the force induced by pressure in the mold cavity.

The basic parts of the injection molding machines are:

- Injection unit - a hopper, dispensing device, plastication and injection chamber with piston or roll, nozzle, heating and control.
- The closing unit comprises: a locking mechanism (joint or piston), a holding mechanism
- Form 3 - Shows product shape.
- Accessories of the injection molding machine - it is made up of an energy source,

a molding device and control and control elements.

Horizontal injection presses

The most common design of the injection molding machines is a horizontal one-chamber injection molding, That the axis of the injection unit is in a horizontal position perpendicular to the molding plane of the mold.



Vertical Injection Presses

For special applications, vertical injection molding presses are used in many cases. Clamping plates have horizontal molding surfaces. The top plate is movable in the vertical direction, the lower plate is movable in the horizontal direction. The movement of the bottom plate is made possible either by rotating the rotary table or by sliding the sliding table moving. In both cases, the form then has one half of the mold on the top table and two identical lower halves on the lower table.



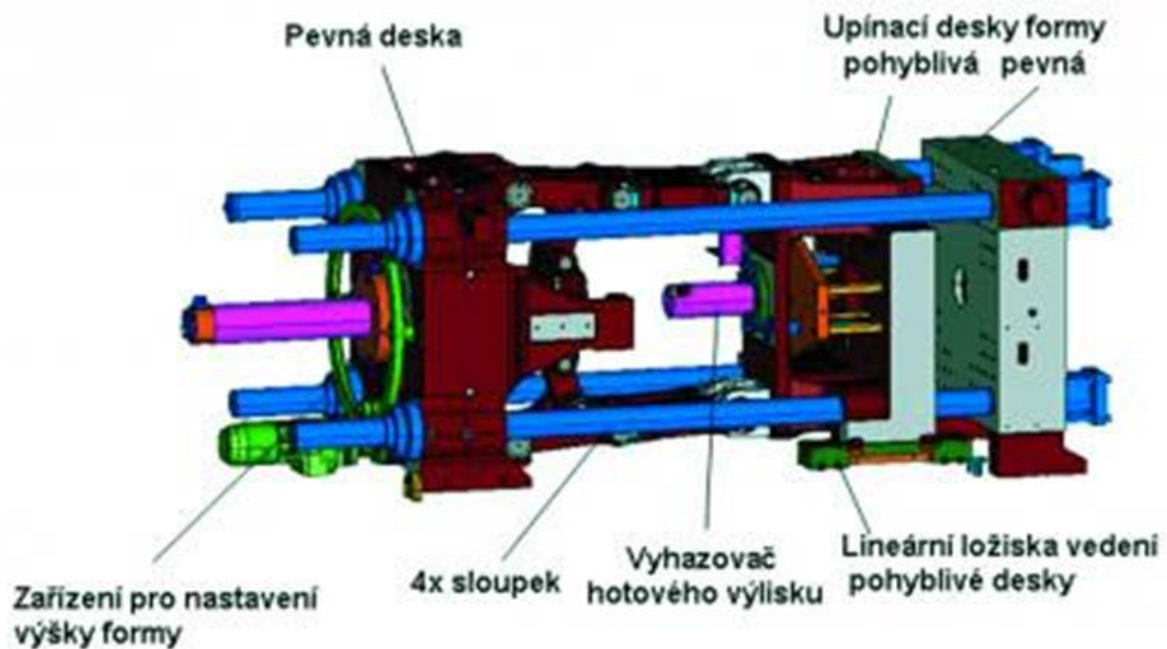
Vertikální vstřikovací lis s otočným stolem a vertikální vstřikovací jednotkou



Vertikální vstřikovací lis s otočným stolem a vertikální vstřikovací jednotkou

Legend: Vertikální vstřikovací lis s otočným stolem a vertikální vstřikovací jednotkou - Vertical injection press with rotary table and vertical injection unit

3.5. Hydraulic machines



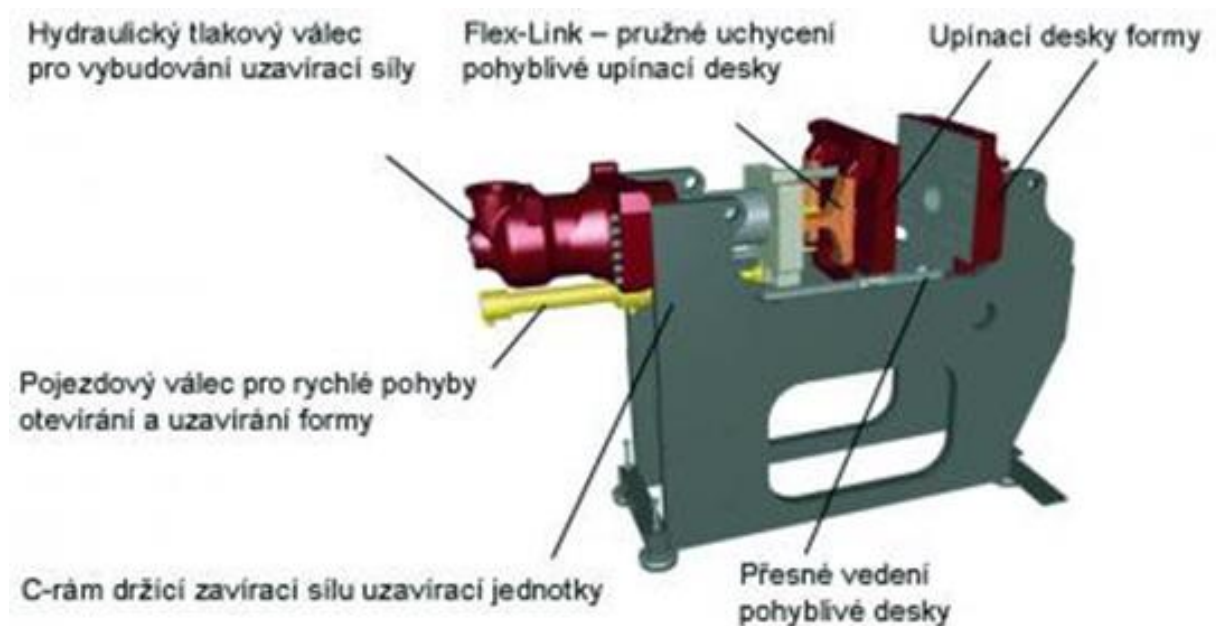
Legend: pevná deska - stationary plate, upínací desky formy, pohyblivá, pevná - mould clamping plates, movable, fixed, zařízení pro nastavení výšky formy - device for setting the mould height, 4x sloupek - 4 columns, vyhazovač hotového výlisku - ejector of finished pressing, lineární ložiska vedení pohyblivé desky - linear bearing guide plate

Two plate machine with one fixed and one movable plate



Frequent is the construction of "no column" machines. The locking force transmits the so-called C frame instead of the columns. The mild elasticity of the C frame is compensated by the flexible attachment of the movable plate called flexline. This patent construction allows precise closing of the mold without the risk of shear forces. More space is available for clamping mold than for columnar machines.

Without a pillar machine



Legend: hydraulický tlakový válec pro vybudování uzavírací síly - hydraulic pressure cylinder for closing force creation, pružné uchycení pohyblivé upínací desky - flexible clamping of movable plate, upínací desky formy - mould clamping plates, pojezdový válec pro rychlé pohyby - running cylinder for fast movement, otevírání a uzavírání formy - opening and closing of the mould, C-rám držící zavírací sílu uzavírací jednotky - C-frame holding closing force of closing unit, přesné vedení pohyblivé desky - precise guiding of movable plate

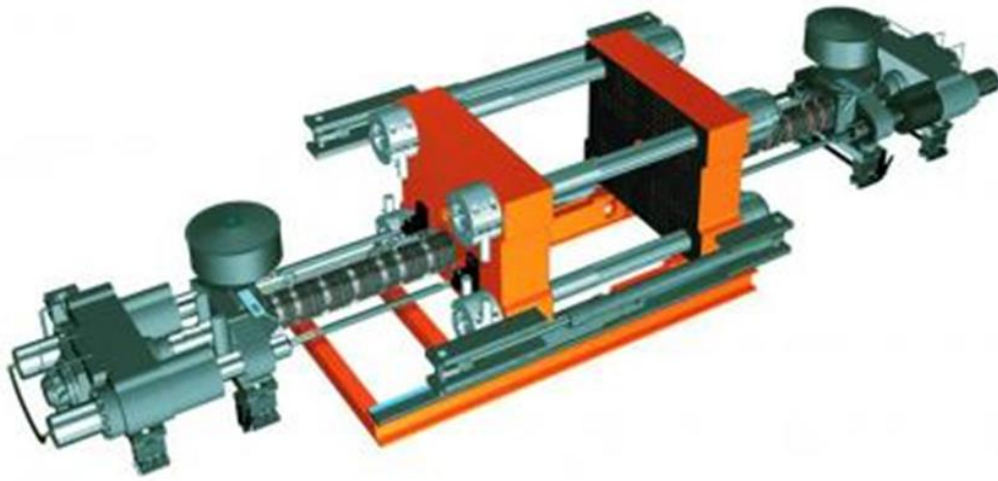
Electric Injection Presses

Machine movements are driven by electric servo motors controlled by frequency converters. The price of a larger number of drive motors and their steering is compensated for by more precise production and better reproducibility compared to hydraulic machines. The cycle time of the machine is shorter, and it is also interesting to save energy resulting from higher drive efficiency compared to hydraulics. Also, there is no need to cool the hydraulic motor.

Hybrid machines

Hybrid machines with electrically driven injections are currently most widely used in multi-component injection molding, where injection precision is the most important parameter for successfully assuring the quality of molding of multiple materials.

Two injection machine



Automation of injection presses

The use of robots and manipulators greatly accelerates and improves the production of injection molded parts. Particularly for larger machines with closing forces above 1 500 KN, the use of robots is now common in almost all machines. Most linear manipulators are used.

Linear manipulator with molding conveyor



3.6. Rolling

Rolling is a technology that molds the polymer mass into the shape of foils and belts in a slot between two counter-rotating rollers. Rolling, or also calendering, is the basis of several technological operations applied mainly to the production of rubber products:

- manufacture of rubber belts themselves, which are also used in the manufacture of finished products (eg tires, rubber footwear, conveyor belts etc.)
- impregnation and rubber coating of fabric, friction coating

3.7. Blowing

The blowing technology is used to produce hollow articles, particularly bottles and other closable containers. This technology is suitable for the production of hollow articles where too high accuracy in wall thickness is not required. Typical examples are PET beverage bottles, PET bottles and detergent containers, household chemistry, agrochemicals, etc. This method currently manufactures about 90% of hollow bodies of plastics (bottles, cans, tanks, etc.), with the largest containers having a volume of 10,000 Liter and weight up to 180 kg.

Blow mold and product

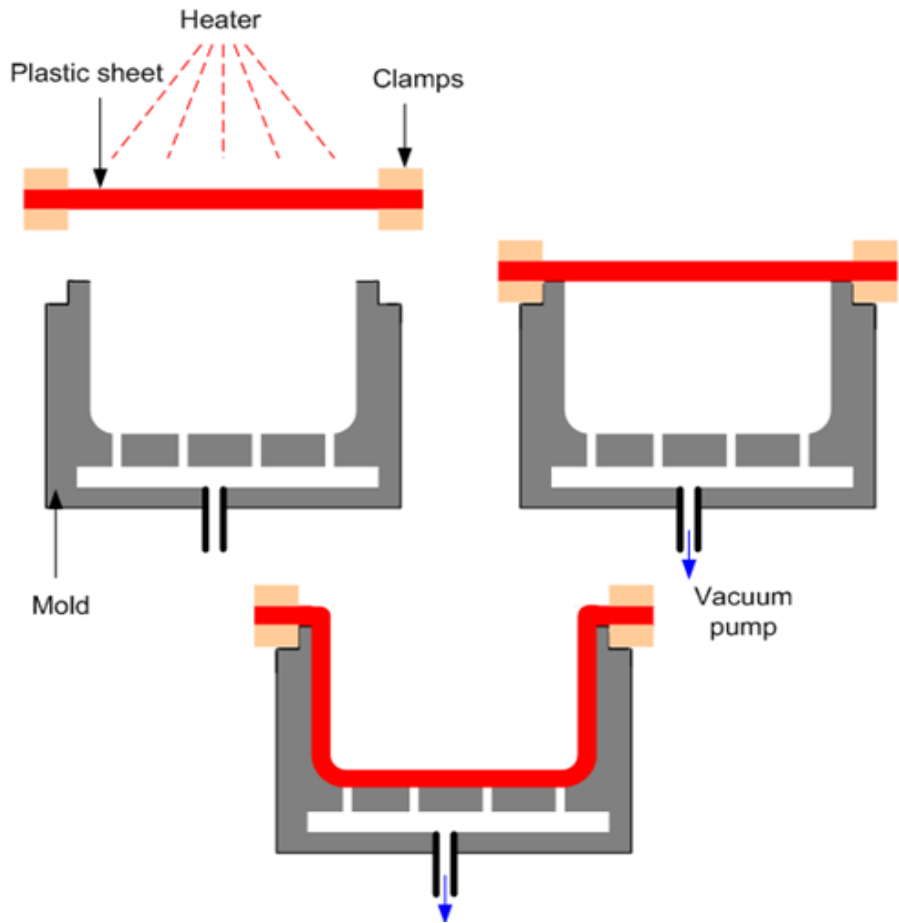


3.8. Shaping

Shaping takes place in cold form. It must run out in the shortest possible time so that the plastic temperature is constant during the molding phase. Therefore, the maximum speed of the molding allowed by the plastic is chosen.

After molding, the product must not be molded earlier if its temperature does not drop below the lower of the glass transition temperature. The result is that the shape memory is not reflected. Plates and materials with a thickness of 0.4 mm to 10 mm are usually processed and have the dimensions of 100 x 100 mm or 800 x 1500 mm, made of materials hPS, ABS, PMMA, PVC, PC.

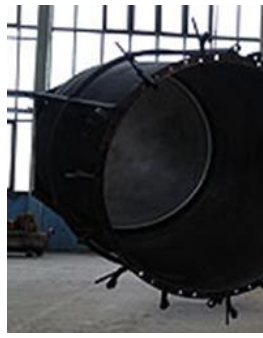
Vacuum molding principle



3.9. Casting, soaking, heat and fluid application

Casting is a technology that can be processed by both thermoplastics and thermoplastics. Depending on the forces acting on the polymer for its shaping in form, we recognize casting gravity, centrifugal and rotary.

The principle of rotary casting



Soaked

By soaking, the polymers are processed in liquid form, paste, and dispersion. The most commonly used polymeric materials are PVC pastes but also latex rubbers. In the case of PVC paste, gelling of the product is done in the case of solutions or latexes by evaporation of solvents. When soaking latex rubber products, the vulcanization is usually required after drying the latex.

The principle of soaking latex gloves



Warm application

Polymers which have a decomposition temperature sufficiently higher than the melting temperature, respectively, can be processed. softening. The principle of hot melt is to melt the polymer in a special gun and then spray the polymer melt onto the surface of the selected material. The design of a spray gun is derived from a gun for hot metal application. By means of a central tube of the gun, a powder polymer is fed and an acetylene-oxygen burning mixture flows through the outer ring.

Fluid coating

Is used as the technology of applying a polymeric coating to the surface of articles for the purpose of surface treatment. Provides a more uniform and superior coating such as hot spray. The principle of fluid deposition is that the heated article is immersed in the fluidized bed of the powdered polymer. The polymer particles are melted on the surface of a sufficiently heated article and poured into a compact layer.

4. Semi-finished products and semi-finished products

By its principle, the different methods of metallurgy are different and are often divided into:

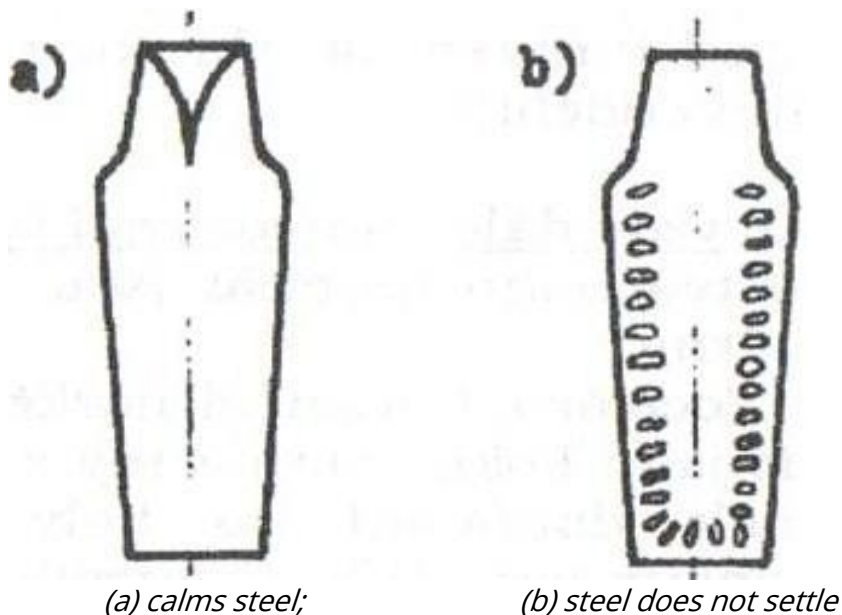
- Farming
- Molding
- Welding, soldering, heat separation, gluing, etc.
- Thermal management

4.1. Discounts

From a wider metallurgical point of view, we distinguish:

- Casting of metallurgical castings
- Casting of shaped castings

Casting of metallurgical castings

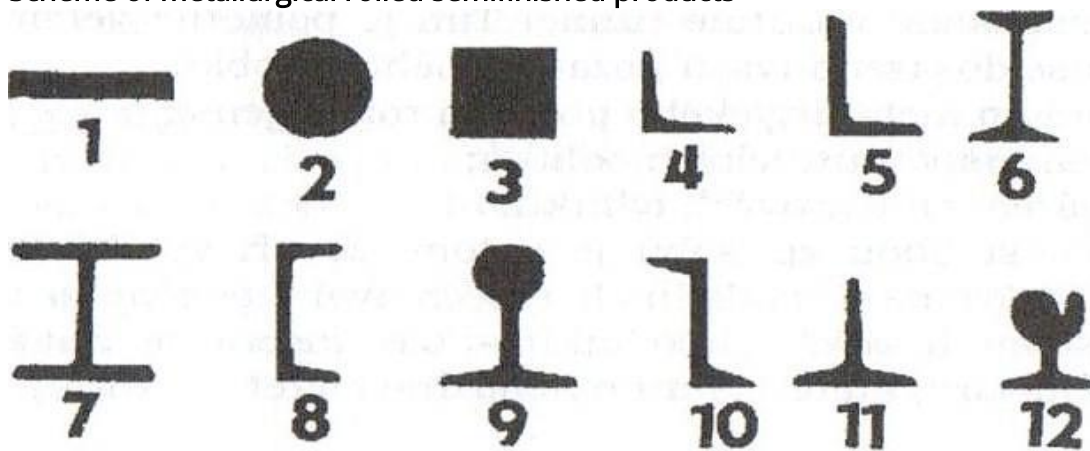


Scheme of ingot

Rolled steel rolled steel can be divided into (New, I. et al., 2006):

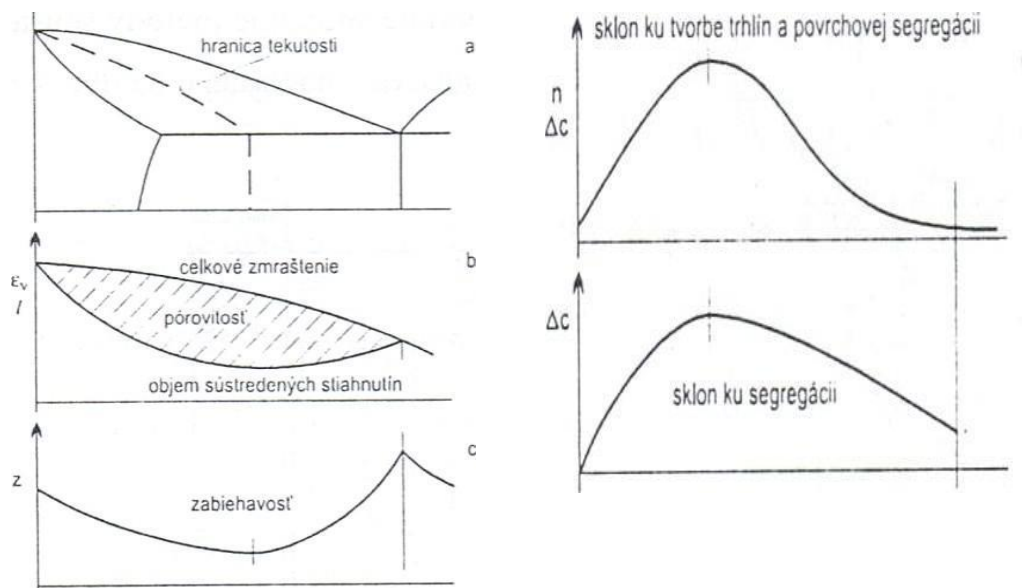
- Profiles of simple geometric shapes
 - circular, square, rectangular, I-profiles, U-profiles, etc. ;
- Sheet thickness 0,15-4 mm - depth 3000 mm, thickness 4-60 mm - depth 3500 mm; Thickness 60 - 250 mm - Depth 4500 mm;
- Tubes - circular, rectangular, oval cross section ;,
- Rolling a profile obtained in a particular manner by rolling.

Scheme of metallurgical rolled semifinished products



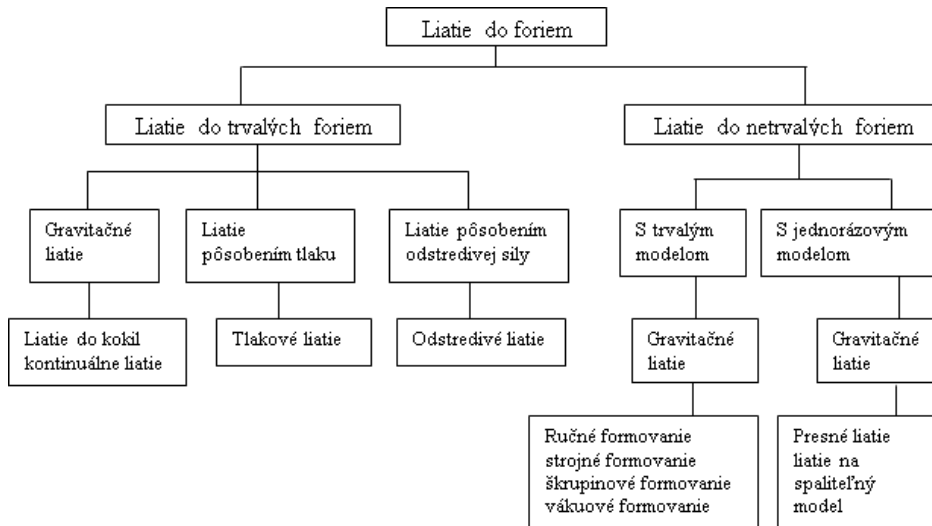
1-strip steel, 2-ring steel, 3-square steel, 4-isosceles angular, 5-angled isosceles, 6,7-I profile, 8-U profile, 9- Profile, 12-tram rail

Dependence of the technological properties of the alloy from the composition



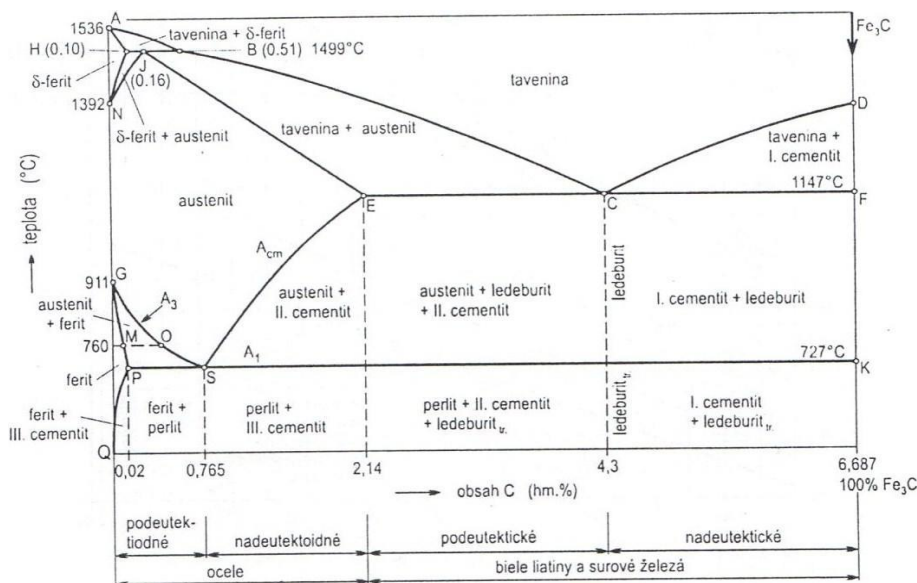
Legend: hranica tekutosti - fluidity limit, celkové zmráštenie - overall shrinkage, pórovitosť - porosity, objem sústredených stiahnutín - volume of concentric shrinkage, zbiehavosť - convergence, sklon ku tvorbe trhlin a povrchovej segregácii - tendency to cracking and surface segregation, sklon ku segregácii - tendency to segregation

Forms and models



Legend: liatie do foriem - mold casting, liatie do trvalých foriem - permanent mould casting, gravitačné liatie - gravity casting, liatie pôsobením tlaku - die casting, liatie pôsobením odstredivej sily - rotational casting, liatie do kokil - chill casting, kontinuálne liatie - strand casting, liatie do netrvalých foriem - casting in expendable mould, s trvalým modelom - permanent mould casting, s jednorázovým modelom - expendable mould casting, ručné formovanie - hand moulding, strojnÉ formovanie - machine moulding, škrupinové formovanie - shell moulding, vákuové formovanie - vacuum moulding, presné liatie - precision casting, liatie na spaliteľný model - investment casting

Iron - carbon alloy diagram



Legend: tavenina - melt, ferit - ferrite, austenit - austenite, cementit - cementite, teplota - temperature, perlit - perlite, ledeburit - ledeburite, obsah C - C content, podeutektoidné - hypoeutectoid, nadeutektoidné - hypereutectoid, ocele - steels, biele liatiny a surové železá - white cast and pig iron

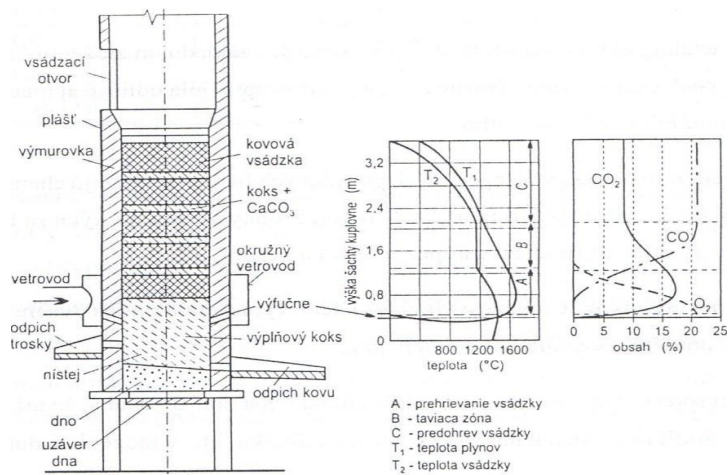
Depending on the chemical composition we divide the casting steel into the following basic groups:

- **Alloy steels** - contain alloying elements (one or more alloying elements).
 - Depending on the content of alloying elements, we divide them into:
 - Low alloy (content of alloying elements below 5%)
 - Medium alloyed (alloying content 5% - 10%)
 - High alloy (content of alloying elements above 10%)
- **Unalloyed - carbon steels** - contain a small amount (0,06 - 0,5%) of the accompanying elements (S + P, P, S, Mn, Si). We can roughly divide these steels into three groups:
 - Low carbon (carbon content below 0,25%),
 - Medium carbon (carbon content 0,25% - 0,6%),
 - High carbon (carbon content above 0,6%).

We refer to casting steels according to the ČSN standard as follows: 42 XX YY. Z1Z2.

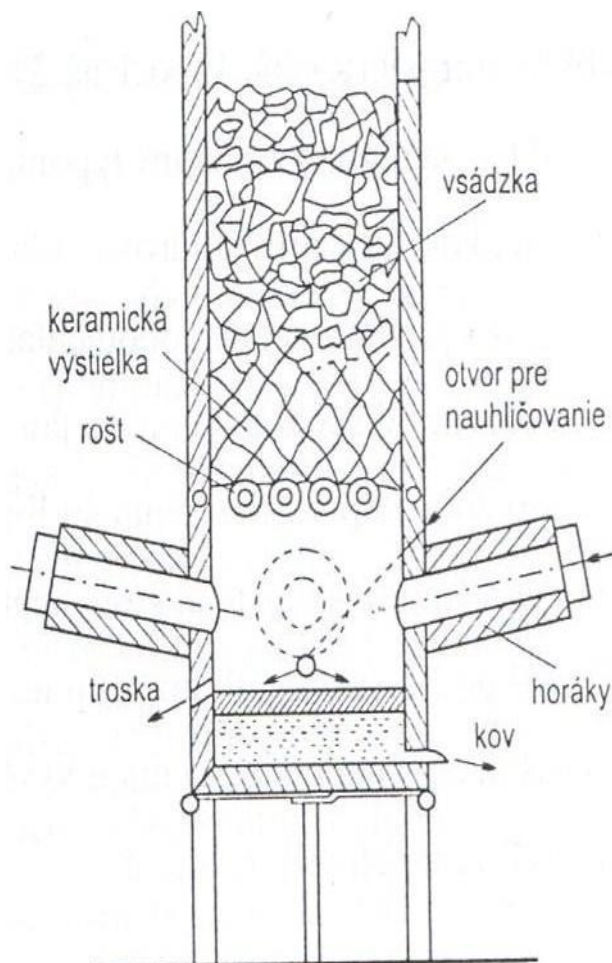
- First two digits
 - 42 - a class of standards for metallurgy
- The second two digits
 - XX - type of casting material, eg casting method
- The third twin - XX
 - 00-29 describes that castings cast in a different manner to sand molds,
 - 30 - 99 indicates the lowest tensile strength at 10 MPa (e.g., 42 2636 - tensile strength 360 - 460 MPa).
 - For high-alloy casting steels (42 29 YY), the third two-digit group of alloying elements is used.
- Fourth double - Y1Y2 (additional digits)
 - Y1 - denotes the final state of the casting material depending on its heat treatment,
 - Y2 - indicates the casting process of iron alloys.
 - For alloy steels, four-piece castings have the same meaning as carbon steel

4.2. Arrangement of the furnace with the temperature and composition of flue gases



Legend: A - batch heating, B - melting zone, C - batch pre-heating, T₁ gas temperature, T₂ batch temperature
 vsádzací otvor - charging opening, plášť - wall, výmurovka - liner, vetrovod - wind pipe, odpich trosky - slag tap, nístej - furnace hearth, dno - bottom, uzáver dna - closing, odpich kovu - metal tap, výplňový koks - filler coke, výfúčne - exhaust pipe, okružný vetrovod - round wind pipe, koks - coke, kovová vsádzka - metal charge, výška šachty kuplovne - cupola furnace shaft height, teplota - temperature, obsah - Content

Without a coke oven



Legend: vsádzka - charge, keramická výstelka - ceramic lining, rošt - grate, troska - slag, kov - metal, horáky - burners, otvor pre nauhličovanie - opening for carburizing

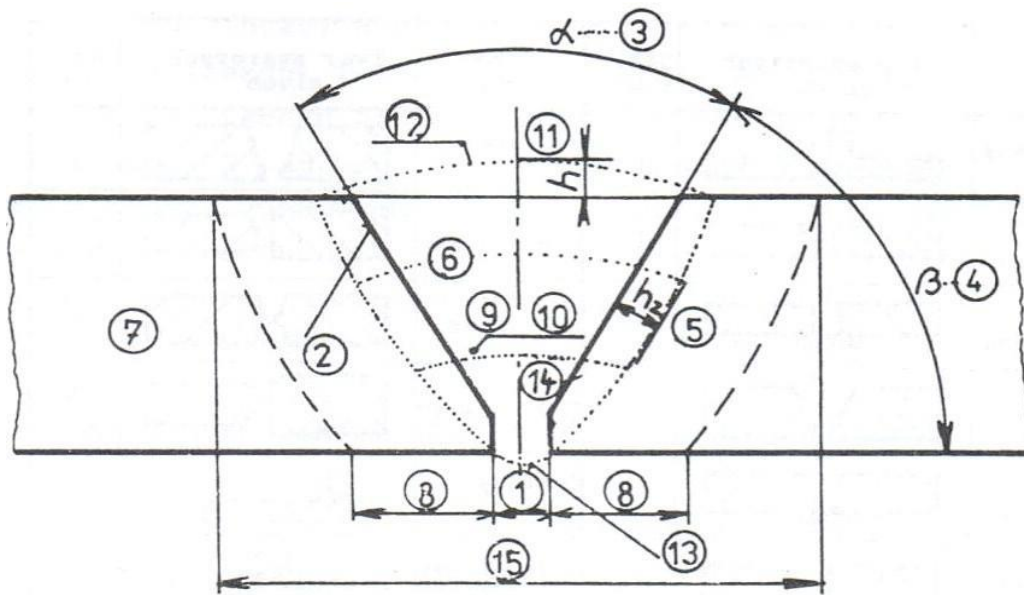
Foundry molding materials

Foundry molding materials are raw materials (sands - bristles, binders and auxiliaries) from which molding compounds are produced. These are used to make semi-permanent and non-permanent cores and molds.

Sharpener and binder

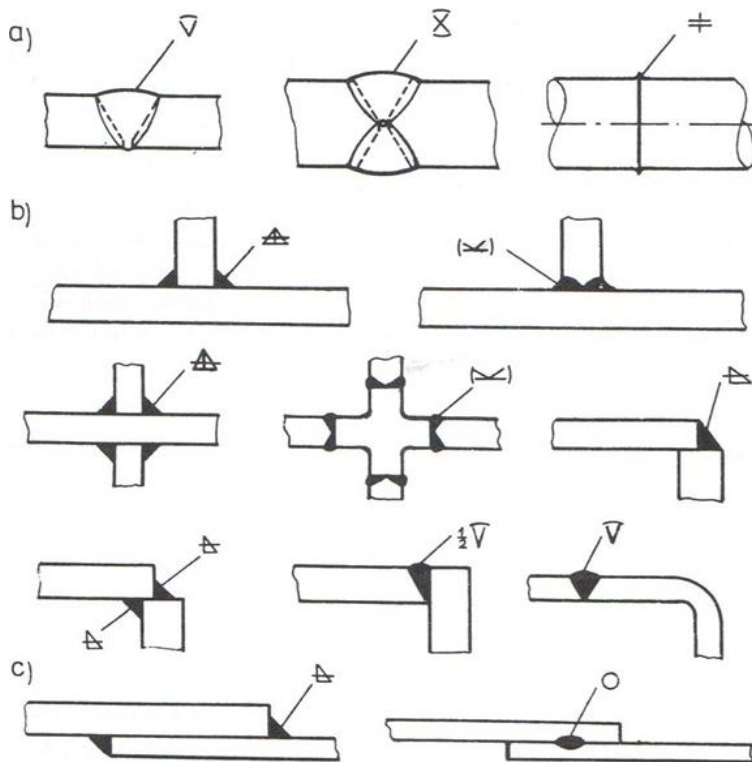
- Sharpness of molding mixtures (sand) is a refractory material comprising 86-96% by weight and by volume in the molding mixture
- The binder connects the brightener and the molding mixture gives the necessary ductility and strength.

4.3. Welding



Basic ways of welding

Fusion welding	Pressure welding
Flame welding	
Arc welding: -coated electrode welding -in protecting atmosphere with consumable electrode, wire or cored electrode (MIG, MAG) -in protecting atmosphere with non-consumable electrode (WIG, TIG) -automatic with various types of electrodes (carbon) -submerged arc welding -rotary arc welding	Electric resistance welding: -spot welding -seam welding -resistance projection welding -contact welding – forge welding - flash welding
Exothermic welding (aluminothermy)	Friction welding
Electroslag welding	Induction welding
Laser beam welding	Ultrasonic welding
Plasma arc welding	Svařování tlakem za studena
foundry welding	Explosion welding
Svařování elektronové	Svařování kováním



Names and shapes of weld surfaces

Název svaru	Tvar svarových ploch	Zákl. znak	Název svaru	Tvar svarových ploch	Zákl. znak
Lemový svar			U - svar		
I - svar			U - svar		$\frac{1}{2}$
I - svar na podložce			UU - svar		$\frac{1}{2}$
V - svar			UU - svar		$\frac{1}{2}$
V - svar na podložce			Koutový svar		
$\frac{1}{2}$ V - svar		$\frac{1}{2}$	Koutový svar oboustranný		
X - svar			Rohový svar		
X - svar nesymetrický			Svar děrový a žlábkový		
K - svar			Svar děrový a žlábkový skosený		

Legend: svar - weld, název svaru - weld type, tvar svarových ploch - shape, základní znak - basic symbol, lemový svar - flange weld, I-svar - square butt weld, I-svar na podložce - square butt backing weld, V-svar - V-butt weld, X-svar - X-butt weld, X-nesymetrický - X-butt weld asymmetrical, K-svar - K-butt weld, U-svar - U-butt weld, UU-svar - UU-butt weld, koutový svar oboustranný - T-fillet weld, rohový svar - fillet (corner) weld, svar děrový - plug weld, žlábkový - groove weld, svar děrový a žlábkový skosený - bevel plug and groove weld

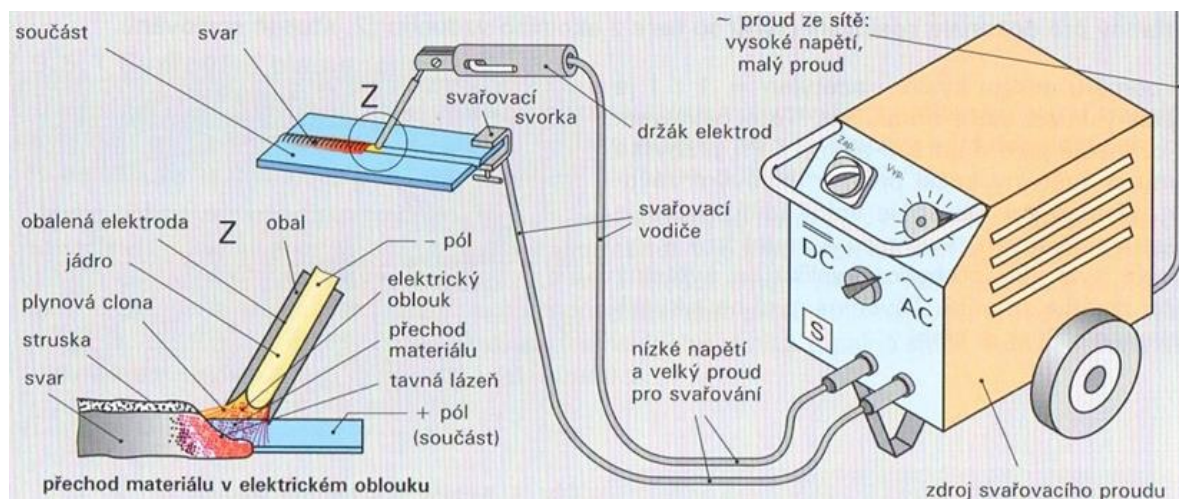
4.4. Arc welding

The arc has several characteristic areas (Blažčík, F. et al., 1988):

- On the surface of the electrode which has a minus pole (cathode), a cathode spot is formed over which the current passes. In the vicinity of the cathode, a cathode region is formed in the gaseous column,
- On the surface of the electrode with the positive pole (anode) there is an anode patch and an anode region connected thereto,
- The central part of the column is a positive column that forms almost the entire length of the arc.

Manual arc welding scheme

(Fischer, U. a kol., 2004)

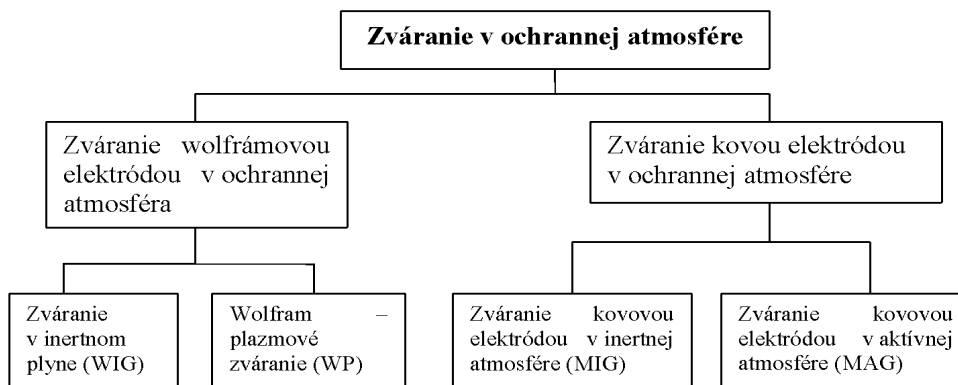


Legend: součást - part, svar - weld, obalená elektroda - coated electrode, jádro - core, plynová clona - gas curtain, struska - slag, pól - pole, elektrický oblouk - electric arc, přechod materiálu - material transition, tavná lázeň - molten bath, přechod materiálu v elektrickém oblouku - material transition in electric arc, proud ze sítě: vysoké napětí, malý proud - power from power grid: high voltage, low current, držák elektrod - electrode holder, svařovací svorka - welding clamp, svařovací vodiče - welding conductors, nízké napětí a velký proud pro svařování - low voltage and high current for welding

Arc welding in protective atmospheres

When welding in protective atmospheres, we distinguish WIG welding and welding with a molten metal electrode (MAG, MIG). The advantage is simple automation of welding process and suitability for use in robotized workplaces.

Separation of welding in a protective atmosphere

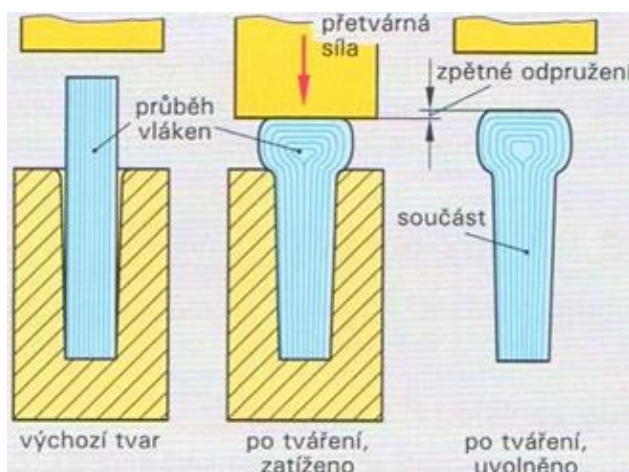


Legend: zváranie v ochrannej atmosfére - shielded arc welding, zváranie wolfrámovou elektródou v ochrannej atmosfére - shielded tungsten electrode welding, zváranie kovovou elektródou v ochrannej atmosfére - shielded metal electrode welding, zváranie v inertnom plyne (WIG) - wolfram inert gas welding (WIG), wolfram plazmové zváranie - wolfram plasma welding (WP), zváranie kovovou elektródou v inertnej atmosfére - Metal inert gas welding (MIG), zváranie kovovou elektródou v aktívnej atmosfére - metal active gas welding (MAG)

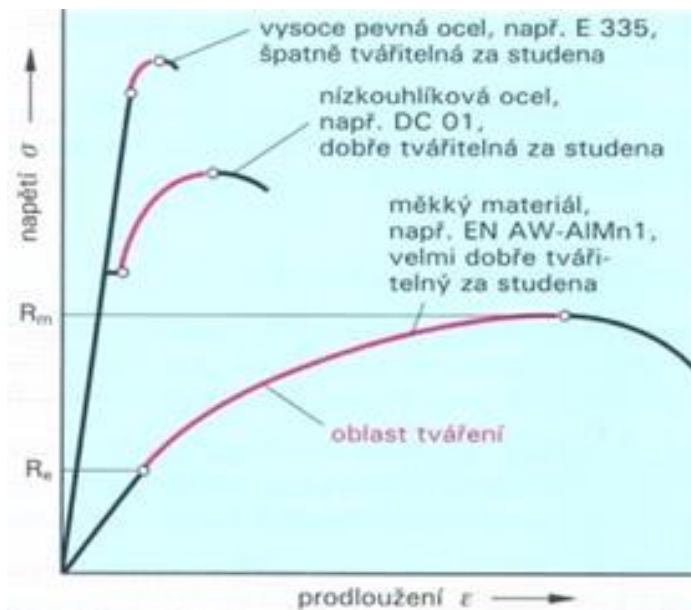
4.5. Molding

Deforming a portion of machining technology, which changes the characteristics, dimensions and shape by external forces. The change of shape occurs by the transfer of metal particles based on plasticity. It is the most important property of metals and strength and flexibility. It is a permanent change in shape and dimension of the molded material (components). This is caused by the external forces of the forming machine and the tool.

The part has been transformed, has a different shape.



Plastic deformation during molding



Areas of molding in the stress / elongation diagram
(Fischer, U. a kol, 2004)

Legend: průběh vláken - filament flow, výchozí tvar - initial shape, přetvárná síla - deformation force, po tváření zatíženo - loaded after forming, zpětné odpružení - back suspension, součást - component, po tváření uvolněno - released after forming

napětí - tension, prodloužení - extension, oblast tváření - forming zone, vysoce pevná ocel (např. E 335, špatně tvářitelná za studena) - high-strength steel (e.g. E 335, not suitable for cold forming), nízkouhlíková ocel (e.g. DC 01, dobře tvářitelná za studena) - low-carbon steel (e.g. DC 01, suitable for cold forming), měkký materiál (např. EN AW-AlMn1, velmi dobře tvářitelný za studena) - soft material (e.g. EN AW-AlMn1, suitable for cold forming)

Laws of molding

- Law of stability (constant)
- The law of residual and complementary tensions
- The law of the least resistance
- The law of constant (constant) potential energy of shape change
- The law of similarity
- Law of non-compliances of elastic stresses (deformations)
- The law of consolidation
- Law frightened

Hot process molding processes

- ironwork - free and dump
- Rolling - for the mass production of simple shapes
- Extrusion - for the production of various profiles, rods, tubes

Processes of cold forming

- Rolling
- Pulling
- Pressing - cutting, bending, spreading, twisting, pulling containers, bulk molding - overpressing

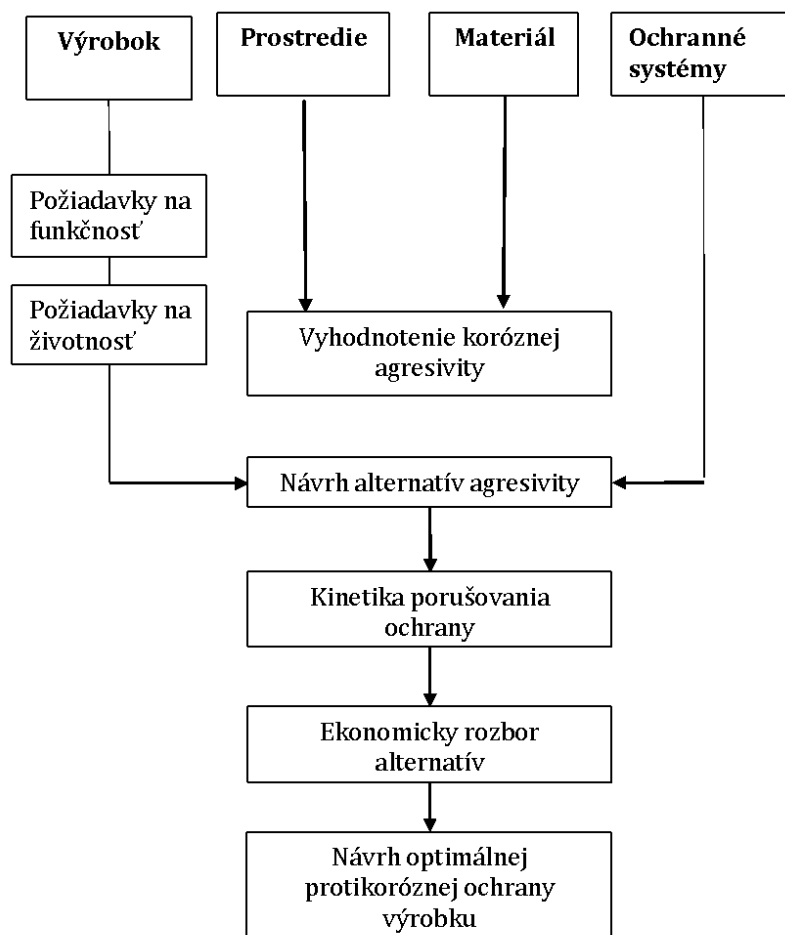
Types of semi-finished products used

- rolling
- ingots
- Sheets

5.Surface treatment

Workpiece surface treatment has previously served mostly for decorative purposes. It gave the products a nice look, which was created with color, smoothness, gloss, etc., thus increasing the product salesability. Today, this requirement is secondarily secondarily because the surface treatments are intended for functional purposes (eg corrosion resistance, wear resistance). Surface treatments include all physical, chemical, electrochemical and mechanical processes that will give the surface the desired properties without the use of a cutting tool.

Scheme of the procedure for choosing anti-corrosion protection



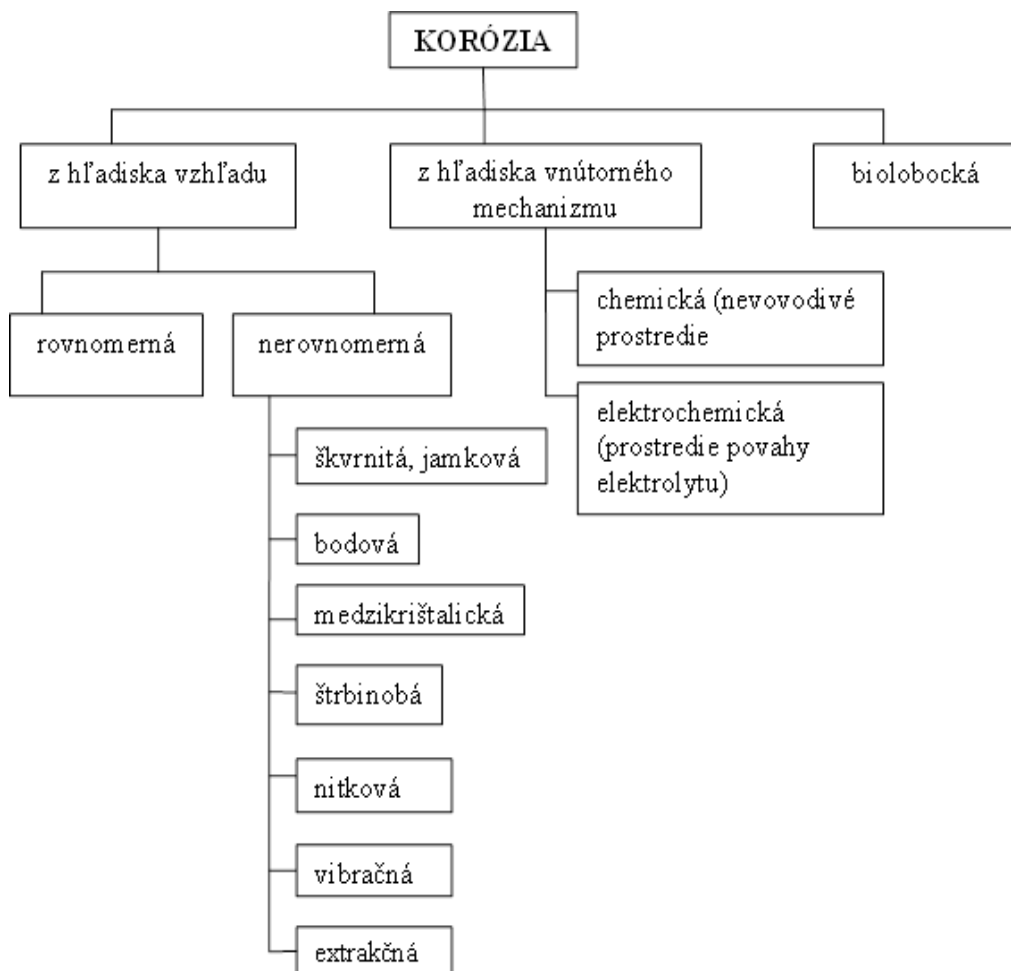
Legend: výrobok - product, prostredie - environment, materiál - material, ochranné systémy - protective systems, požiadavky na funkčnosť - requirements for functionality, požiadavky na životnosť - durability requirements, vyhodnotenie koróznej agresivity - evaluation of corrosion aggressiveness, návrh alternatív agresivity - proposal of aggressiveness alternatives, kinetika porušovanie ochrany - protection kinetics, ekonomický rozbor alternatív - economic alternatives analysis, návrh optimálnej protikoróznej ochrany výrobku - proposal of optimal anti-corrosion protection

Corrosion data acquisition scheme

The degradation of metallic materials by the chemical or physico-chemical effect of the surrounding environment, ie metal corrosion, is an increasingly serious national economic problem around the world. The natural corrosive environment is polluted by industrial activity and thus increases its aggressiveness.

In the chemical industry, power engineering, electrical engineering, engineering and other industries, the demands for metal resistance against corrosion increase.

Diagram of the division of corrosion



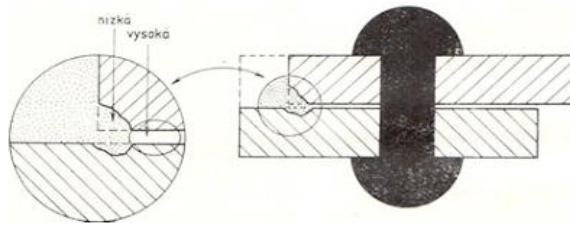
Legend: korózia - corrosion, z hľadiska vzhľadu - in terms of appearance, z hľadiska vnútorného mechanizmu - in terms of internal mechanism, biologická (biologická) - biological, rovnomerná x nerovnomerná - uniform x non-uniform corrosion, škvrnitá /jamková - pitting corrosion, bodová - spot corrosion, medzikrištálická - intercrystalline corrosion, štrbinová - crevice corrosion, nitková - reticulated corrosion, vibračná - vibration-enhanced corrosion, extrakčná - extraction, chemická - chemical (nevovodivé prostredie - non-conductive environment), elektrochemická (prostredie povahy elektrolytu) - electrolytic corrosion



Even corrosion

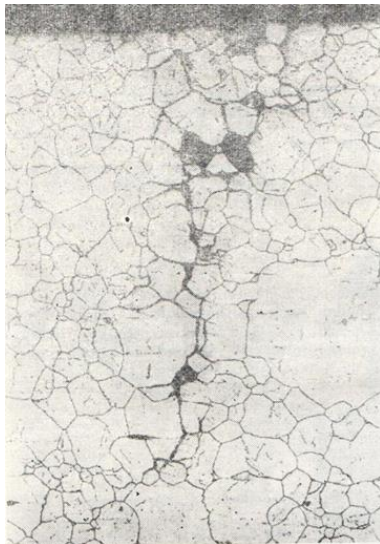


Point Corset



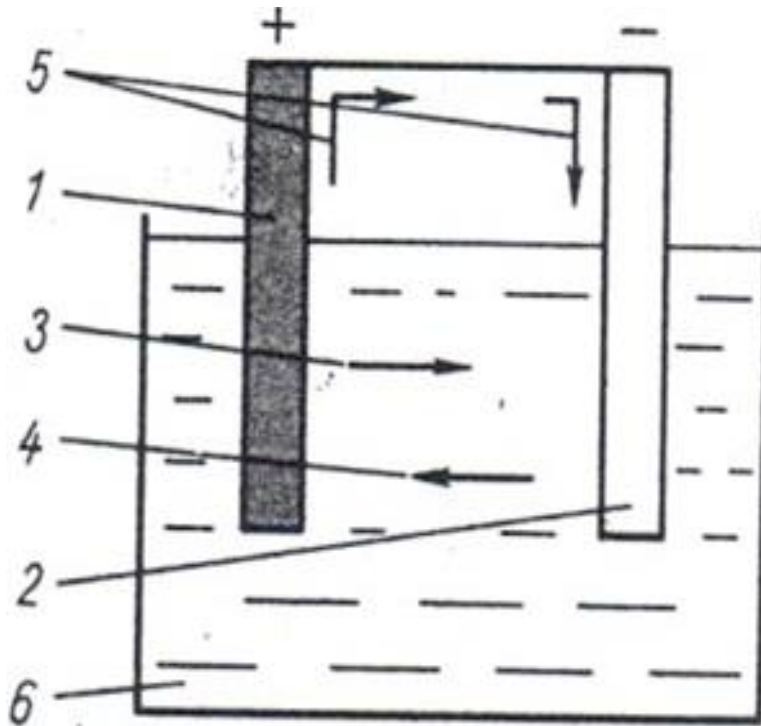
Concentration cell with varying concentrations of metal ions

Crystal corrosion



5.1. Types of corrosion in terms of internal mechanism

- chemical corrosion
- electrochemical corrosion



Biological corrosion

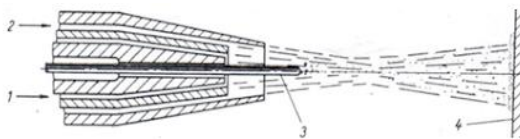
Metal technical material can be disturbed by a living organism. For example, the Dermestes beetle eats Zn, Ag, Au and the most soft Pb. A beetle was observed which overcrossed in Pb plate in 4 hours $t = 0.2$ mm and a diameter of 3 mm. Bacteria are also involved in the disruption of the metal, which in their presence makes the formation of chemical compounds increasing the aggressiveness of the corrosive environment.

5.2. Corrosion protection of metallic technical materials

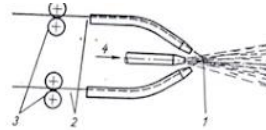
Anticorrosive protection is carried out:

- By appropriate material choice
- Structural modification
- Corrosion treatment
- Electrical protection
- Surface treatments
- Plating by immersion in a molten metal bath - is one of the oldest methods of corrosion protection. Immersion is mainly made of Zn, Sn, Pb. After heating and soaking the surface, the baths are removed and cooled.
- Plate - When plated, the layer of protective metal on the components is formed by bending, casting, soldering, or making a tough metal, protective metal, explosion.

Gun for hot metal spraying

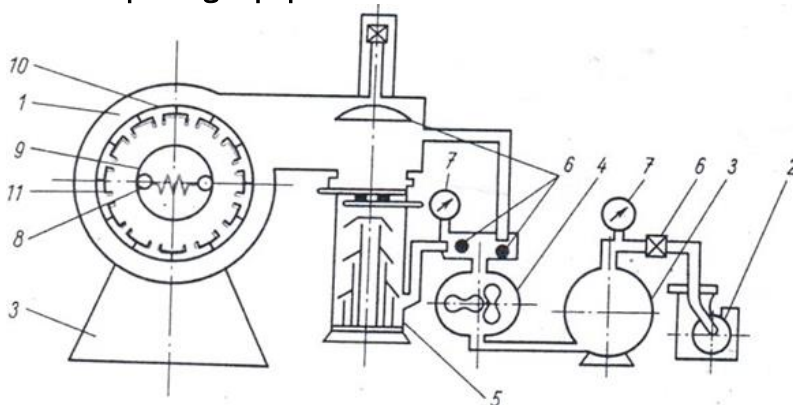


A-wire gas gun: 1-mixture of C₂H₂ and A₂, 2-compressed air, 3-flame wire, 4-sprayed item



B-wire arc gun: 1-arc, 2-wound wire, 3-feed rollers, 4-compressed air

Vacuum plating equipment



1-working vacuum chamber, 2-rotary vacuum pump, 3-feed vacuum flask, 4-Root vacuum pump, 5-pipe vacuum pump, 6-valves, 7-vacuum metering, 8-vaporized metal, 9-Holder with plated parts, 11-plated components

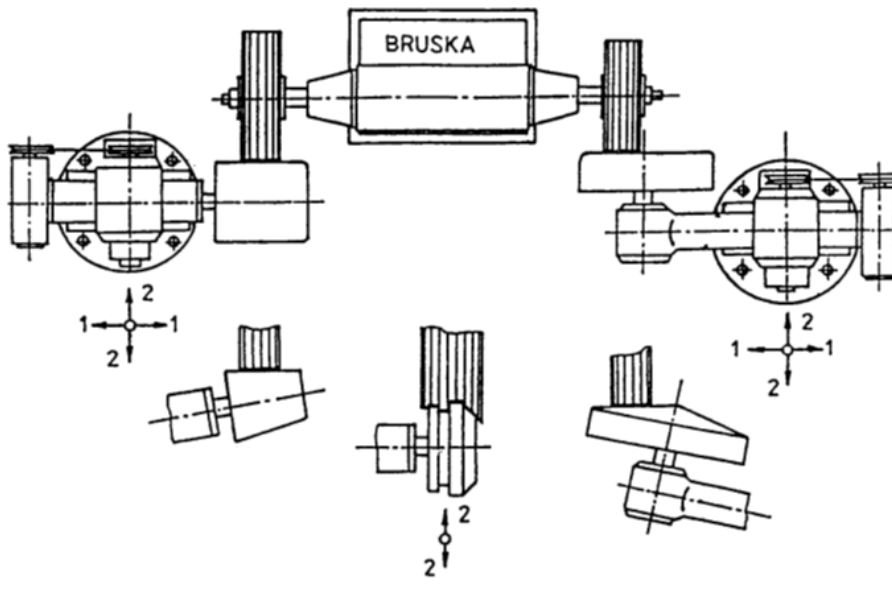
Protective coatings and non-metallic layers

- Chemical surface treatment
- Oxidation
- Chromium plating
- Phosphating
- Diffuse sulfur and sulfanitriding

Protective coatings and non-metallic layers

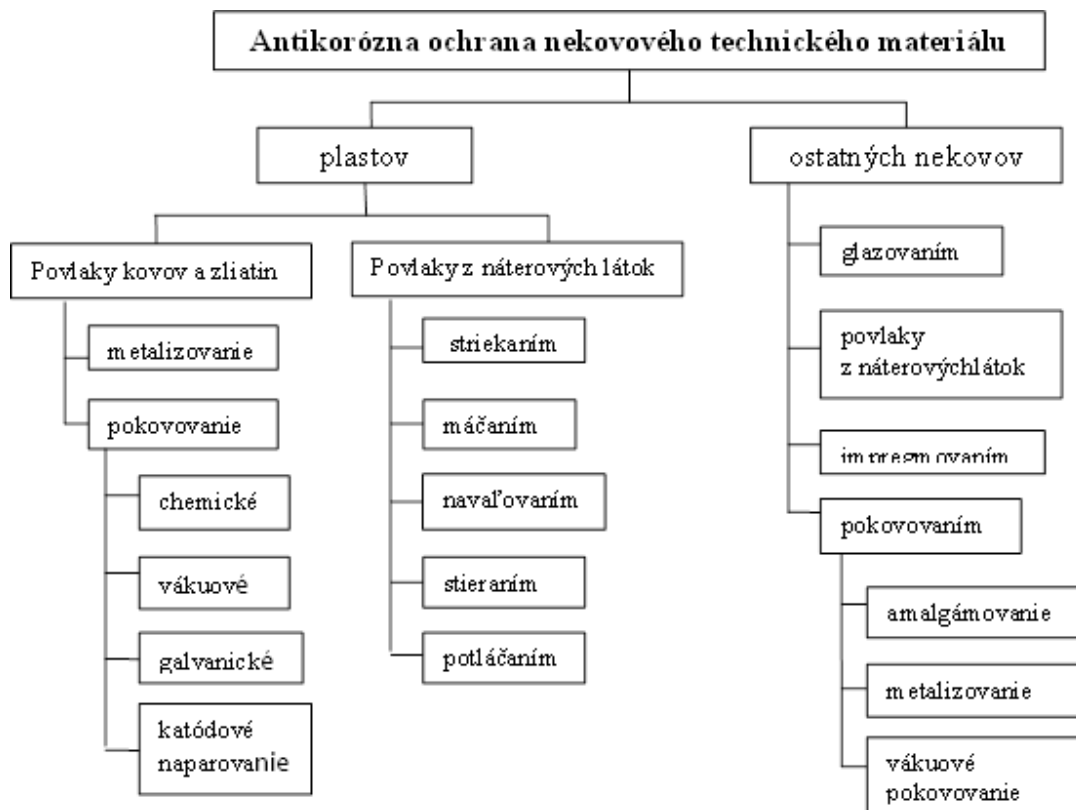
- Enamelling
- Coatings of paints
- Mechanical surface treatment
- Plastic coatings

Sample of machines and preparations for grinding and polishing



Legend: bruska - grinder

Corrosion protection of non-metallic technical materials

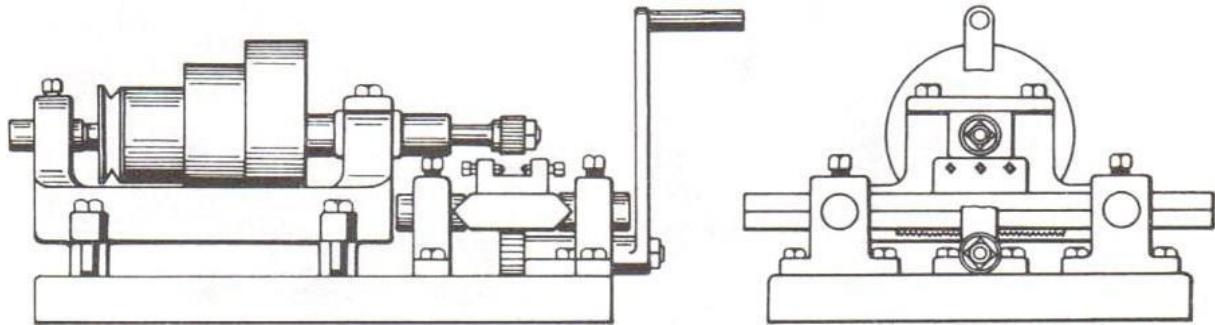


Legend: Antikorózna ochrana nekovového technického materiálu - anti-corrosion protection of non-metallic technical material, plastov - plastics, povlaky kovov a zliatin - coatings of metals and alloys, metalizovanie - metallization, pokovovanie - metal plating, chemické - chemical, vákuové - vacuum, galvanické - galvanic, katódové napařovanie cathodic vapor treatment, povlaky z náterových látok - paint coatings, striekanim - spraying, máčanim - dipping, naval'ovanim - coating, stieranim - wiping, glazovanim - glazing, impregnovanim - impregnation, amalgamovanim - amalgamation

6. Chip machining

The history of working tools began to write about two million years ago. One started Modify used items according to your needs.

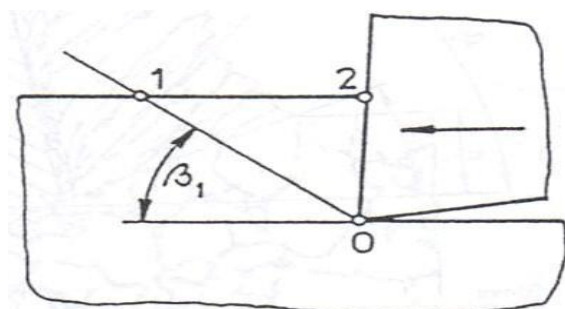
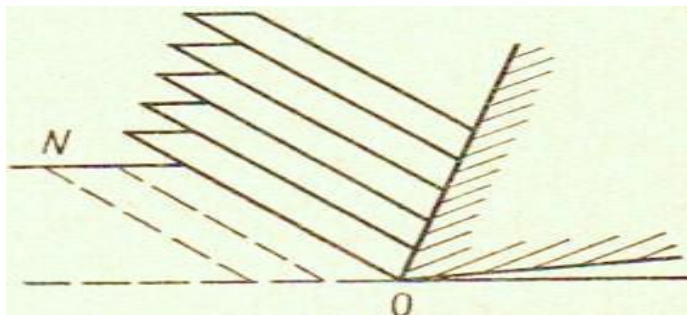
In 1818, Morton was first designed by a milling machine



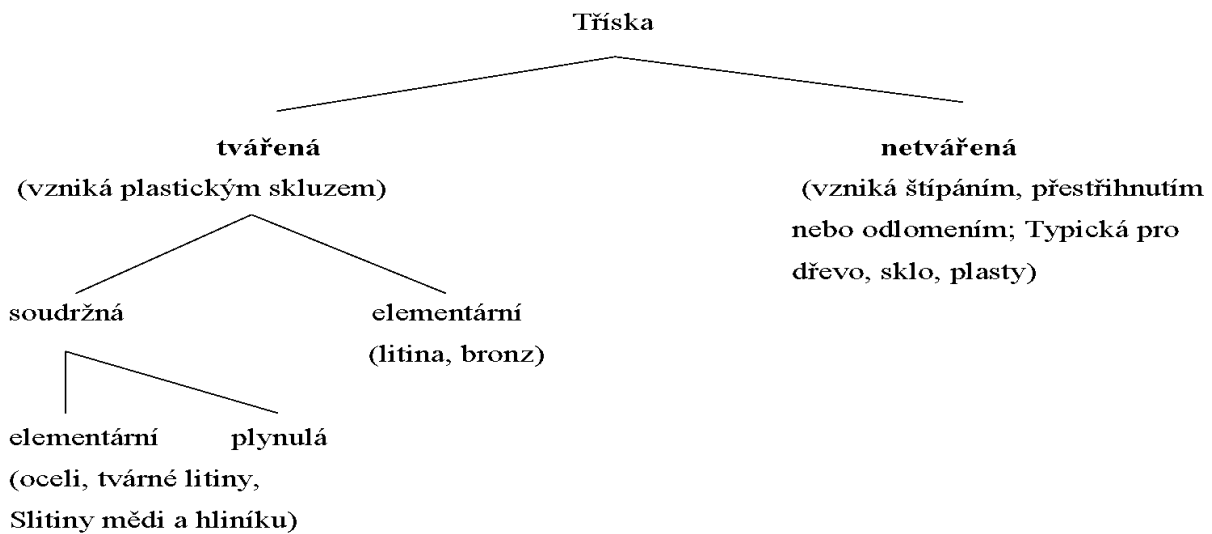
6.1. Theory of chip formation

When machining the material, a cutting wedge is formed and part of the material is separated from the blank. We call this part a splinter. Before the chips are created, an intensive plastic zone is created.

At the pressure of a harder tool and a softer blank, the bonding of its elementary parts is broken. At initial contact with the tool with the machined metal (Fig.), The pressure of the tool face causes the elastic first and then the plastic deformation O12.



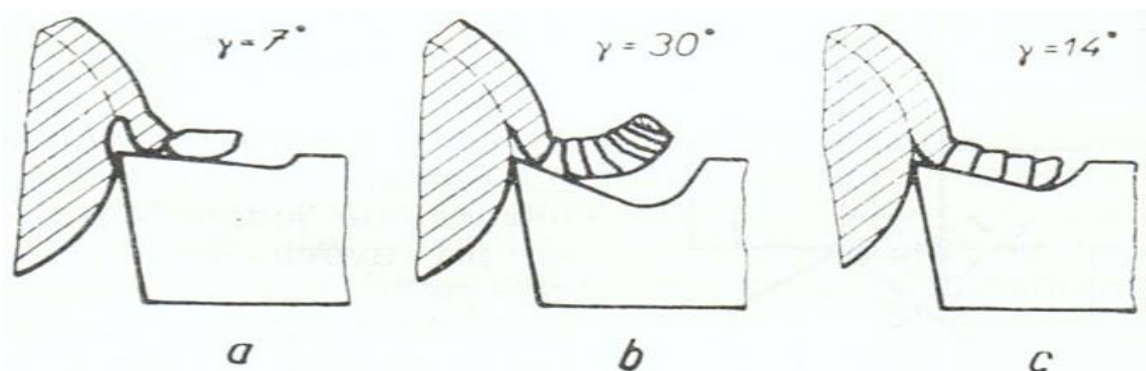
Types of chips and their division



Legend: tříska - chip, tvářená (vzniká plastickým skluzem) - formed (created by plastic chute), soudržná - compact, elementární (litina, bronz) - elementary (cast, bronze), plynulá (oceli, tvárné litiny, slitiny mědi a hliníku) - continuous (steels, malleable cast, copper and aluminium alloys), netvářená (vzniká štípáním, přestřihnutím nebo odlomením, typická pro dřevo, sklo, plasty) - not formed (created by splitting, cutting or breaking off, typical for wood, glass, plastics)

6.2. Basic chip shapes

For materials with higher plasticity, the cut-off material remains intact at the deformation displacements of the individual parts of the chips and creates a continuous chip (Figure b). When the material does not withstand the deformation displacement, particles of the shear layer are formed to form a broken chip. It is either divided (Fig. C) or friable (Fig. A).



Using lines on machine drawings

The shape of the chip depends mainly on the angle of the front and the cutting speed. The larger the angle of the forehead, the less

The chip is compressed and broken. Then the chip develops smooth. When the angle of the knife edge decreases,

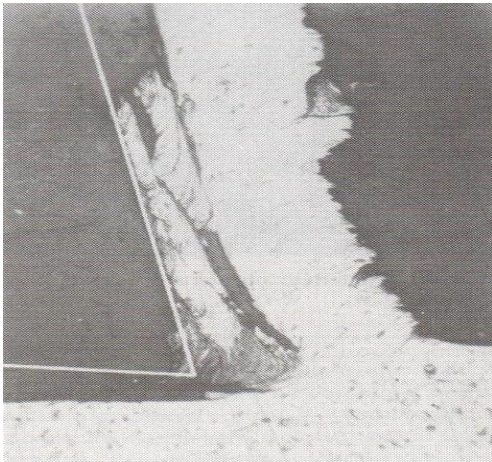
The compression of the chips increases, the chip breaks and splits into smaller pieces. Then a chip develops

The figure shows an example of a zone with an increase in the cutting wedge, where the increase

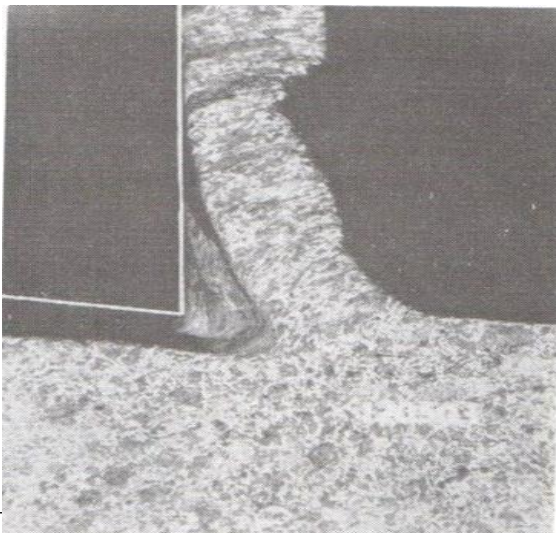
Modifies the original geometry of the cutting wedge. Here, the angle of both the fore-head and the back increases.

The material is steel 12050.1, tool SK, $v = 40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 0.2 \text{ mm}$.

Metallography of the material Of the workpiece in the formation of the chips with an increase



Metallography of the material of the workpiece during chip formation an extreme increase



6.3. Cutting materials

The basic condition for the required technological operation, the reliable and good work of the tool is the correct choice of cutting material. The most important feature of cutting tools is their cutting ability. From a tooling point of view, this term includes the ability, under sufficient toughness, to maintain strength characteristics at high temperatures and to withstand wear at the point of contact of the tool edge with the workpiece and the leaving chips.

The tool material is chosen with respect to its stress. A cutting wedge enters the workpiece material at high pressure. The material is separated in the shape of a chip.

Basic properties of the material:

- Ø sufficient rigidity, strength, toughness
- Ø stability of mechanical properties even at elevated temperatures
- Ø low vulnerability to thermal fatigue
- Ø resistance to wear
- Ø thermal conductivity
- Ø technological production and processing

The most used cutting tools for metal machining:

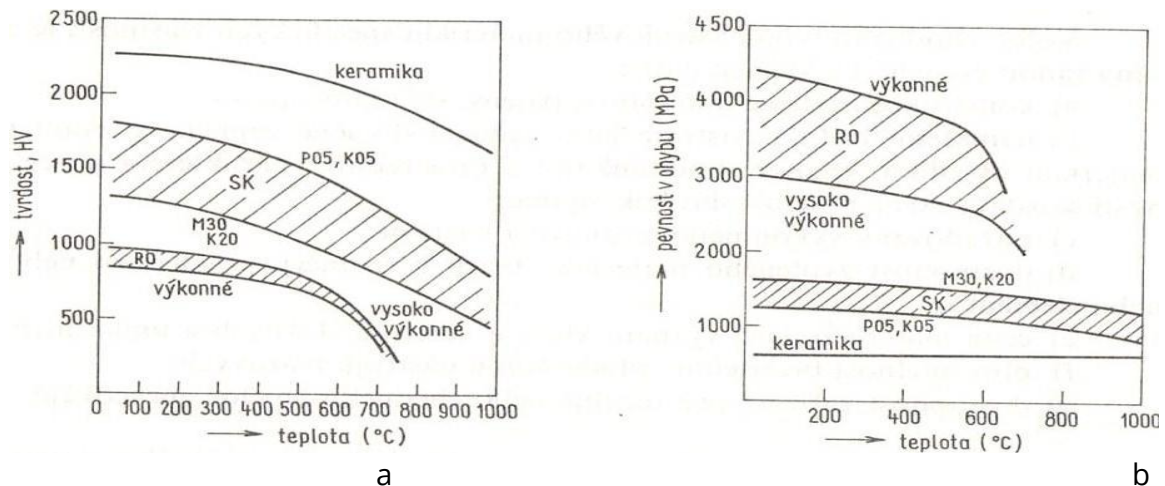
- Ø sintered carbides
- Ø tool steels
- Ø cutting ceramics
- Ø very hard materials

The use of a suitable type of material for a tool is influenced by some factors including:

- Ø Blade stress
- Ø Requirements for durability or performance of the tool
- Ø tool design
- Ø Tooling and cutting edge as a whole
- Ø Required tool life
- Ø required performance
- Ø availability of required material
- Ø the price of the material
- Ø grinding machining especially for shaped tools

Cutting properties of cutting edge and tooling of tooling

To design a cutting edge, we should consider a comprehensive assessment of available data on machined material and selected cutting material. The best solution is to rely on the results of rigorous tests. These tests are the most reliable performance indicator.

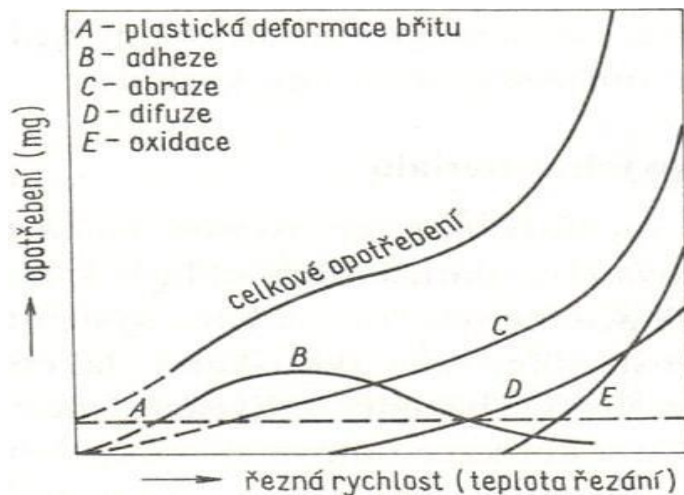


Legend: tvrdost - hardness, keramika - ceramics, výkonné - efficient, vysoko výkonné - highly efficient, teplota - temperature, pevnost v ohybu - bend strength

The temperature dependence of the strength characteristics of the steel tools is summed up under the term tempering resistance. These dependencies are a decisive criterion for the performance of the tool when machining metal materials with high melting temperature. The most common method of assessment is to determine the hardness of the material at 20 ° C or the so-called hot hardness (a). Fig. B shows the effect of temperature on bending strength.

Wear mechanisms depending on cutting speed

Another significant feature of chemical shrinkage is chemical resistance at high temperatures and resistance to wear. Wearing mechanisms occur at the point of contact of the cutting edge with the machined surface and chip. The most important wear mechanisms include oxidation, diffusion, adhesion and abrasion. Their occurrence is linked to the tool-work interaction, cutting conditions (Fig.) And other factors (eg cutting environment).



Legend: opotřebení - wear, celkové opotřebení - overall wear, plastická deformace břitu - plastic deformation of cutting edge, adheze - adhesion, abraze - abrasion, difuze - diffusion, oxidace - oxidation, řezná rychlost (teplota řezání) - cutting speed (cutting temperature)

The working abilities of the cutting material, which comprehensively determine the rate of its performance, express the notion of rigidity. The control is determined by the sum of the physical, chemical and technological properties of tool materials that influence the choice of cutting materials. We must take into account the quality of the machining operation.

Control of tooling

The control of the tooling material is expressed by an index:

$$I = \frac{V_{cT}}{V_{ceT}}$$

Where:

v_{cT} - the cutting speed is reached on the evaluation of the cutting materials during the life of the cutting wedge T ,

v_{ceT} - cutting speed is reached by the reference material at the same durability of the cutting wedge T with the same dulling criterion under the same test conditions as with the rated cutting material.

6.4. Materials

Sintered carbides

They are pulverized metallurgy products. Their discovery meant an increase in labor productivity,

It meant an increase in cutting speeds. The basic component is the tungsten carbide, it can also

Containing chromium oxide, cobalt, tantalum carbide, molybdenum carbide, titanium carbide, and

Niobium carbide. Depending on the number of components we obtain cutting material with different

Mechanical, chemical and physical properties. The respective type of sintered carbide

The manufacturer assigns to a particular use group according to ISO 513.

According to this standard, sintered carbides are divided into groups P, M, K and another two-digit number.

P - suitable for fluent materials,

M - universal,

K - for materials with a short, crumbly chip.

- **Advantages:** maintaining high hardness, wear resistance, cutting edge durability
At temperatures of 900 ° C - 1000 ° C.
- **Disadvantages:** fragility, do not tolerate bending stress, sensitivity to temperature shocks

Tool steels

Tool steels are divided into:

- Ø carbon steel
- Ø alloy steels
- Ø high-speed steels
- Ø Casting steel

Cutting ceramics and metal ceramics

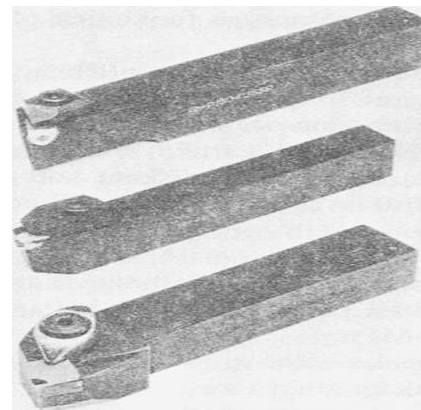
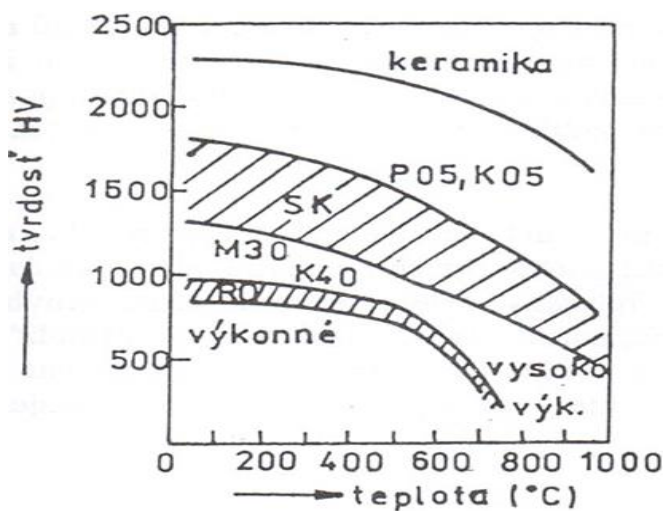
Cutting ceramics and metal ceramics, especially strength and pressure. Further good chemical resistance and resistance to wear.

ŘEZNÁ KERAMIKA

oxidová	směsná	bezoxidová
Čistá oxidová 99% Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +TiC	Kubický nitrid Boru KNB
Polosměsováoxi - dová Al ₂ O ₃ +ZrO ₃	Al ₂ O ₃ +TiC + TiN	Polokristalický diamant PCD
	Al ₂ O ₃ + WC + TaC	

Legend: řezná keramika - cutting ceramics, oxidová - oxide, čistá oxidová - pure oxide, polosměsová - semi-mixture, směsná - mixture, bezoxidová - oxygen-free, kubický nitrid boru - cubic boron nitride, polokristalický diamant - semi-crystalline diamond

Dependence of hardness of cutting materials - from cutting temperature



Examples of cutting elements

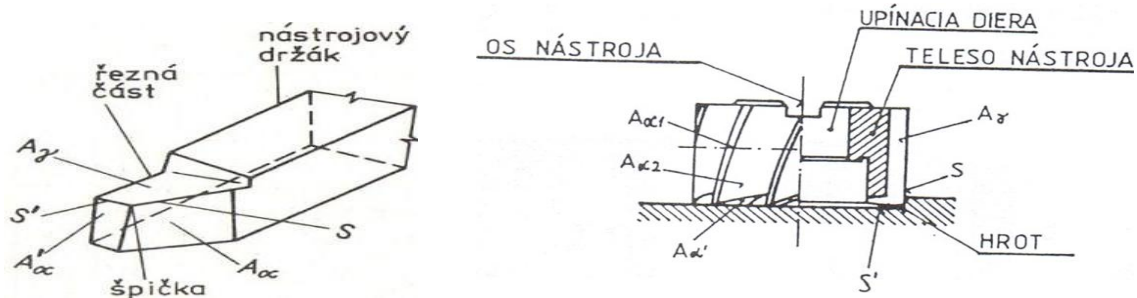
Basic distribution of cutting materials and their area of use in relation to the cutting speed and the permitted cutting temperature

Type	Cutting speed [m/s]	Temperature[°C]
TOOL STEEL		
a/ carbon	0,16 - 0,2	220
b/ alloyed	0,2 - 0,3	280
high speed steel	1	600
CEMENTED CARBIDE	4.16 /10/	1000
CERAMIC MATERIALS	16.6 /25/	1400
ABRASIVES	15 - 30	1500

Cutting edge geometry

In general terms, a machining tool is an instrument that consists of:

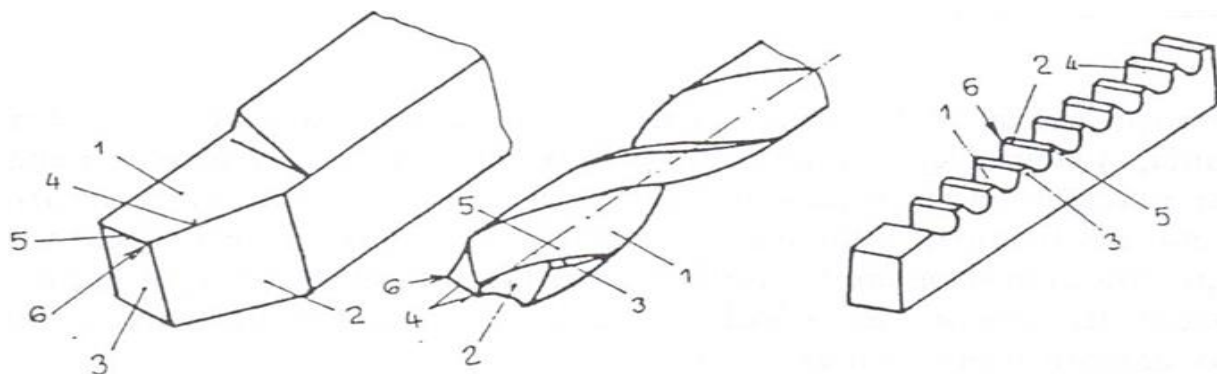
- Cutting wedge - formed by the front and back
- Tool body - part of the tool that serves to secure the cutting tool
- Tool holder - a part of the tool that serves to secure the outer surface
- Clamping hole - The part of the tool that serves to fasten the inner surface
- Tool axes base Forehead A_g Main spine A_a Minor back



Legend: špička - tip, řezná část - cutting part, nástrojový držák - clamp, os nástroja - tool axis, upínacia diera - clamping hole, teleso nástroja - tool body, hrot - tip

Cutting wedge

The cutting wedge is the part of the tool that has the ability to penetrate the machined material. The cutting wedge forms differently the surfaces of the back and the faces, respectively. The sides of the back ridge. The fore and aft intersection forms the main cutting edge, and the intersection of the forehead and the back ridge forms a minor cutting edge. Intersection of the face and ridge surfaces are cutting edges (ČSN 22 00 11 Cutting tools). In general, the surfaces can be screw, planar, cylindrical, tapered, etc. Surfaces on different types of tools: 1-face, 2-main spine, 3-spine, 4- cutting edge, 6th peak



Machine machining

The machine tool processes the blank in the desired size, shape and surface quality. In

order to secure machined parts of the parts, the machine tool ensures reciprocal movements of the workpiece and tools.

Machining is one of the criteria for cutting machine tools. Machine tools are divided into types:

- Lathes
- Milling machines
- Grinders
- Drills
- Boring machines
- shavings
- Slides
- Protractors
- Honing machines
- Lakoping machines
- Superfinishing machines

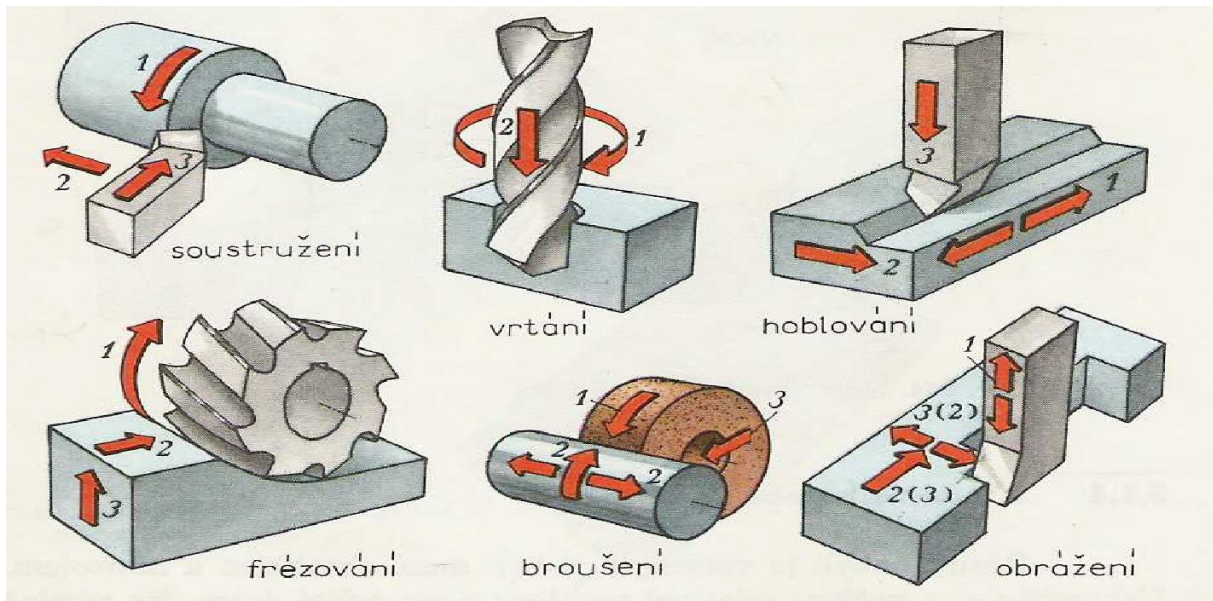
6.5. Basic movements, machining areas and cutting conditions

The following two movements are required for machining cutting chips:

- the main cutting movement
- More cutting movement

Cutting according to the main cutting motion:

- Rotational movement performs workpiece - turning
- rotary movement is performed by the tool - drilling, drilling, reaming, counter-sinking, milling, grinding, sawing
- linear rectilinear motion performs work-planing
- linear reciprocating movement is performed by the tool - reaming, extrusion, stretching, frame sawing, sawing, sawing

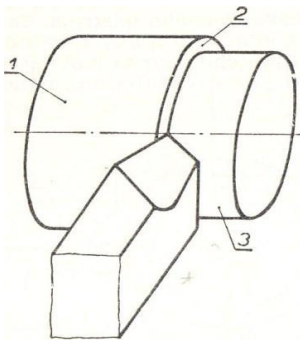


Legend: soustružení - turning, vrtání - drilling, hoblování - planing, frézování - milling, broušení - grinding, obrážení - slotting

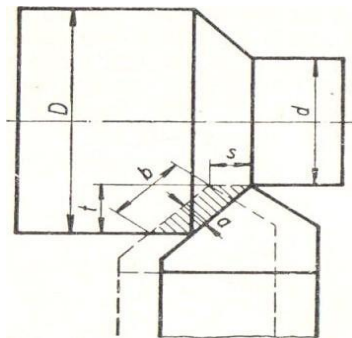
6.6. Base areas

When the cutting wedge enters the workpiece and the feed, three base surfaces are formed (Figure 7.26):

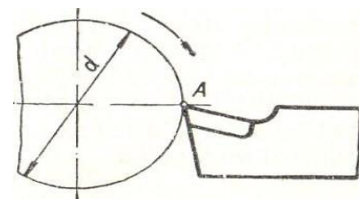
- Machined surface 1 - is machined
- Cutting surface 2 - Becomes just beyond the cutting edge on the component
- Machined surface 3 - is machined



Base areas
ing movement



Chip cross-section dimensions



Main machin-

6.7. Turning

Turning is the most widespread technological operation. By turning it is possible to ma-

chine the inner and outer cylindrical surfaces, spherical and general rotary surfaces. The lathes can drill, drill, ream, produce external and internal threads with turning knives or taps.

The lathe and its main parts

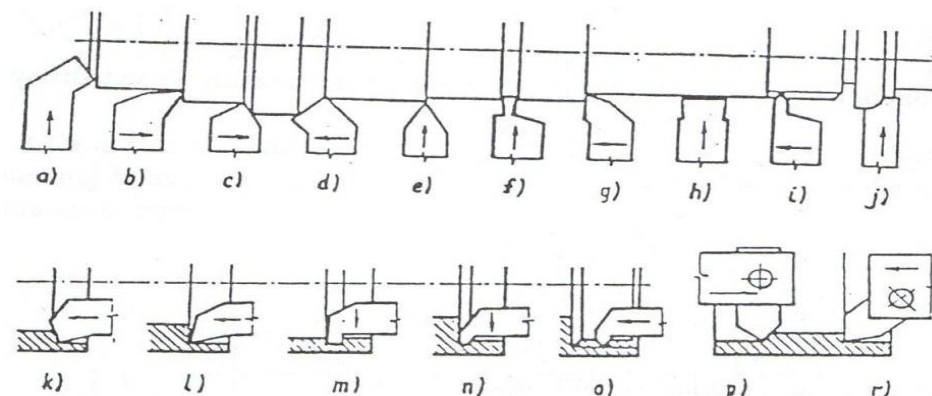


Division of turning machines

There are many types of lathes. In general, we categorize them according to ČSN 200200 to:

- Center point
- Revolver
- Frontal
- vertical
- Semi-automatic
- automatically
- Special lathes

Basic types of turning knives and the surfaces with which they can be produced

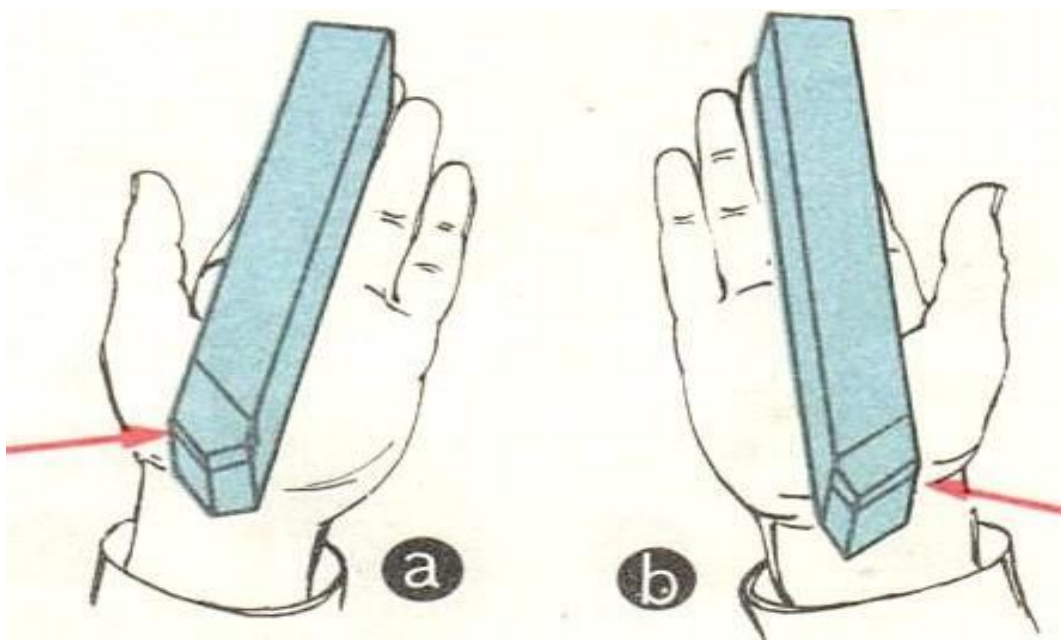


A) bent left-hand, b) corner left, c) straight, left-handed, d) bent right, E) narrow, smoothing, f) grooving, g) side scrolling right, h) J) radius right, k) inner right, l) inner corner, m, n) internal grooving, o) internal threaded, p) inner straight, r)

Determination of right and left knives

When working, the lathe uses a right or left knife. The right knife turns the longitudinal The feed from the tailstock to the headstock and the left knife away from the headstock to the tailstock. Direction of knife with Determines where the main edge of the blade lies on the palm

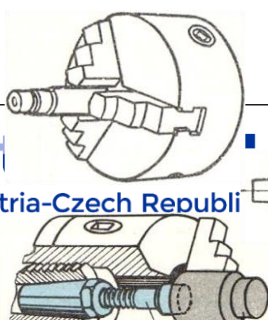
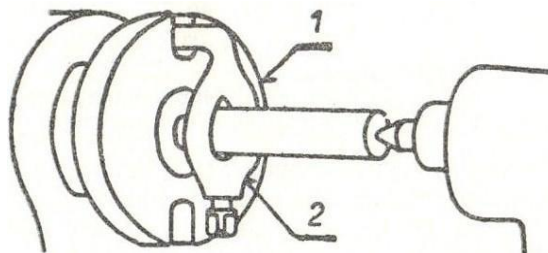
Hand, with its tip pointing to the body of the turner



Clamping of workpieces during turning

We generally recognize two basic ways clamping:

- Gentle - without support
- With the support of a tailstock (chuck and tip, between spikes)



6.8. Milling

The main cutting movement is rotary and is executed by a milling cutter. The secondary movement is sliding and is

Carried out by the workpiece. The tool used is a milling cutter. It is a more wedge rotating tool.

The resulting cutting movement of the tool teeth is cycloid shortened along the path.

Speed of main

Cutting motion - the cutting speed (v_c) is calculated according to the formula

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$$

Where:

D - the diameter of the cutter

N - rotor speed per min

V_c - Cutting speed

The feed rate for milling is calculated according to the relationship

$$v_c = f_z \cdot z \cdot n = f \cdot n \quad [\text{mm/min}]$$

Where:

F_z - tooth movement

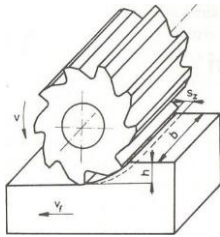
F - feed rate per revolution

Z - number of teeth

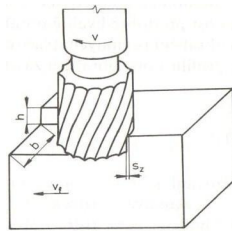
N - speed

Depending on the position of the tool axis on the work surface, we distinguish milling

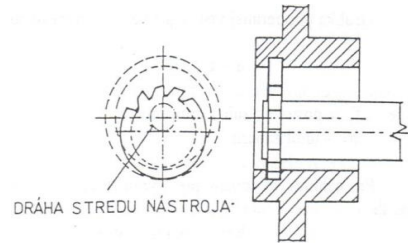
- **Cylindrical milling** - whose axis is parallel to the machined surface and the depth of the cut is set in a plane perpendicular to the axis of the cutter
- **Front milling** - whose axis is perpendicular to the machined surface, the depth of cut is adjusted in the direction of the tool axis
- **Circular milling** - The tool axis and the workpiece are usually tilted a the depth of cut is set in a direction perpendicular to the workpiece axis
- **Planar milling** - fig. 7.5



Cylindrical



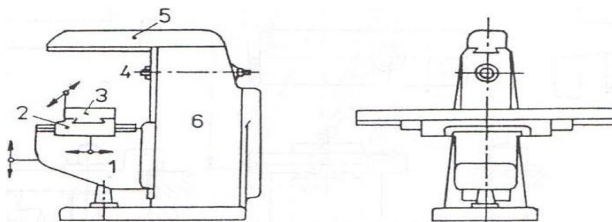
Frontal



Planets

Milling machines

Milling machines are produced in a large number of models and Sizes with different maximum capacities. It can be Divided into four basic groups: console, Table, planar and special. Special category Are tooth milling machines and milling machines.



Console horizontal milling machine

Console vertical milling machine 1-console, 2-transverse slide, 3-way table, 4-spindle, 5-arm, 6-stand

6.9. Grinding

Grinding is a chip cutting of material with multiple cutting wedges created

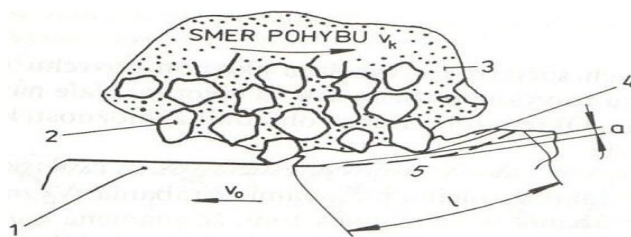
Abrasive grains. Abrasive grains are fastened in the tool with a binder so that the tool has a porous structure. Characteristic is irregular layout of cutting wedges (grinding grains), which are additionally random orientation and random geometry. The peculiarity of grinding is that the process happens with the participation of a large number of relatively small grains in short sections.

The chip is cut off in a relatively short time period of about 0,001 seconds. As a rule, most of this time period is needed on plastic deformation (by compression and recording of material before cutting wedge). Due to high cutting speeds and significant deformation the material layer creates a temperature at the cutting point 1200 - 1500°C.

Operation of grinding wheel grains during the process

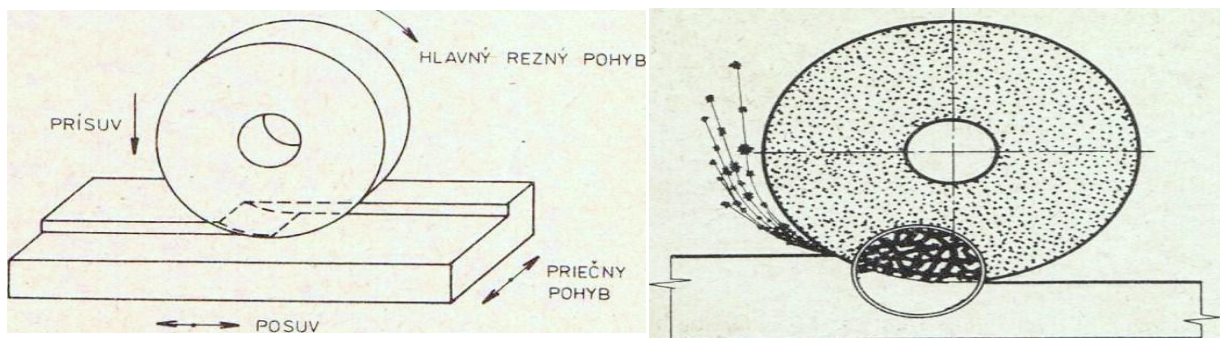
The essence of each grinding method is abrasion grain removal as the effect of grinding grain effects

For machined material. This is the bonding of the grain and the material of the work-piece.



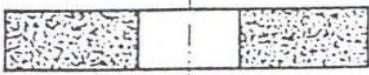
1-workpiece, 2-grain grain, 3-binder, 4-cut material, 5-chip chip, směr pohybu - movement direction
 v_k -peripheral disk velocity, a -depth, v_0 -peripheral disk velocity

Main and minor movements and grinding operation of the blade

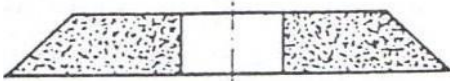


Legend: hlavný rezný pohyb - main cutting movement, prísuv - infeed, priečny pohyb - transverse movement

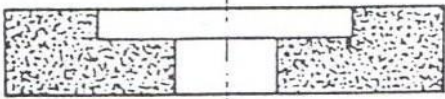
Shape of grinding wheels



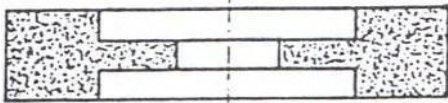
A) flat grinding wheel



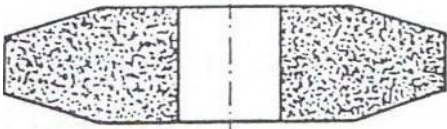
B) the sanding wheel is one-sided



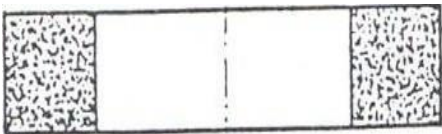
C) a single-sided grinding wheel



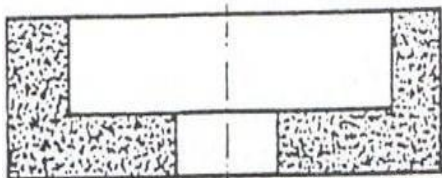
D) a double-sided grinding wheel



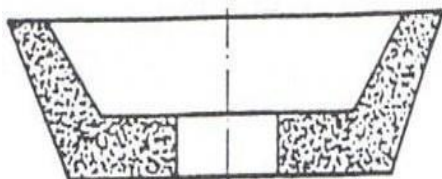
E) the sanding disc is tapered on both sides



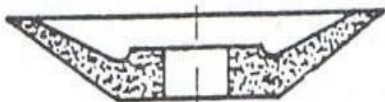
F) ring grinding wheel



G) a cup grinding wheel,



H) a cup grinding wheel,



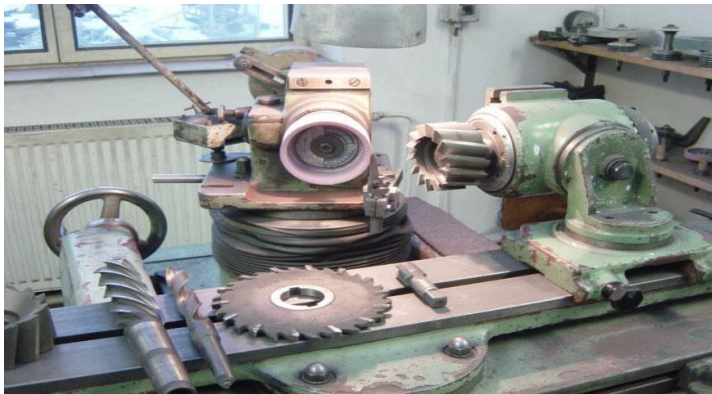
I) a disc grinding wheel

Classification of grinding machines

Depending on the purpose and the way we work, we sort the grinding Machines for:

- Studs
- Without need
- On holes (holes)
- Planar
- Tooling
- Parallel plan

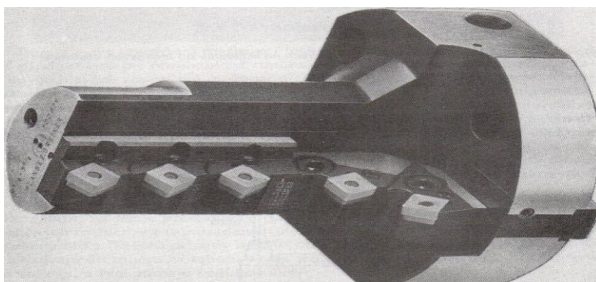
Tool grinder



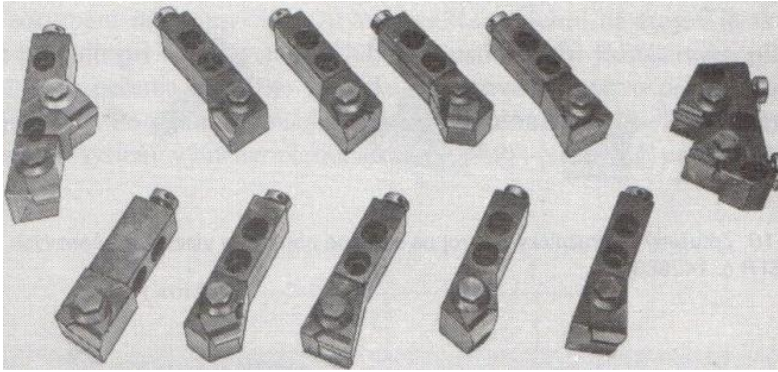
Instrumentation of an automated manufacturing system

The tooling system is one of the factors that it makes conditional Operational reliability of automated manufacturing systems. Reliably And high performance cutting tools are a prerequisite for efficient i Stable operation of an automated manufacturing system. Cutting tools on Analysis of existing systems can be divided into:

- Normalized,
- Combined,
- Tool heads
- Multi spindle heads
- Special cutting tools.



Combined block tool



Set of knife holders with coated cutting inserts intended for warehouse blocks

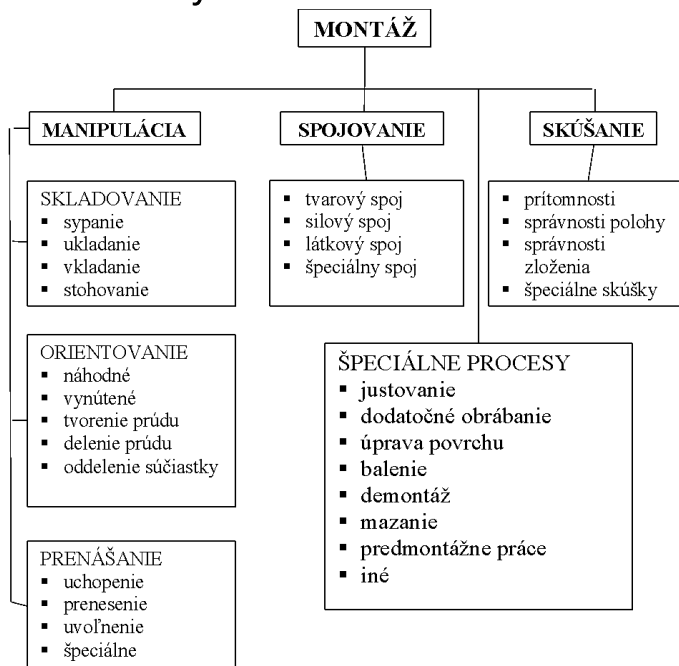
7. Assembly and repair technology

Mounting is the creation of fixed or movable joints between rigid components, but also between liquids and gases. The assembly creates the final process of the production system. The production system can be understood as a manufacturing enterprise. Then the assembly system is just one subsystem of the production system.

The decisive elements of the assembly subsystem

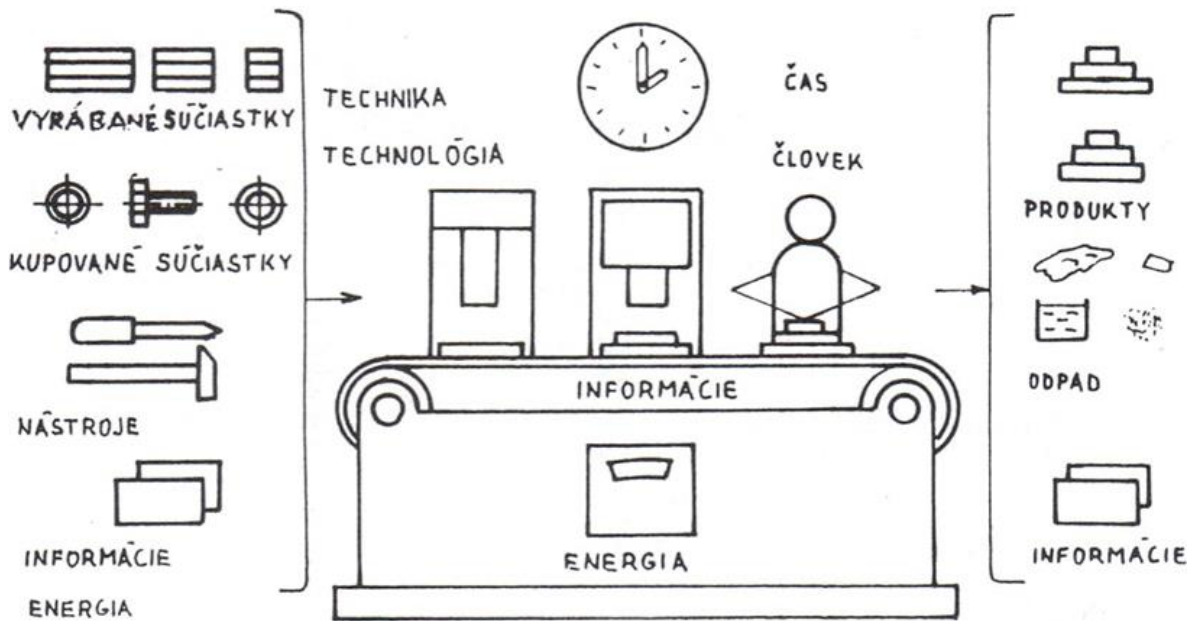
- Assembly product
- Assembly technique
- Assembly technology (ways of creating the connections of the required function)
- Man in assembly
- Information System
- Energy system

Basic assembly activities



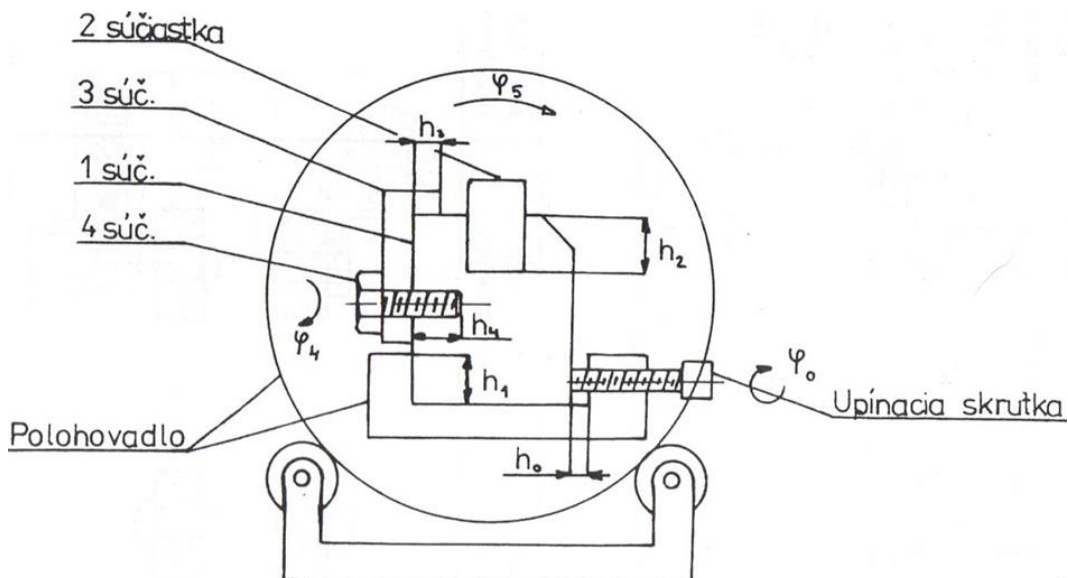
Legend: montáž - assembly, manipulácia - manipulation, skladovanie - storage, sypanie - loose-filling, ukladanie - stowing, vkladanie - insertion, stohovanie - stacking, orientovanie - orientation, náhodné - random, vynútené - imposed, tvorenie prúdu - current generation, delenie prúdu - current separation, oddelenie súčiasvky - component separation, prenášanie - transmission, uchopenie - grip, prenesenie - transfer, uvoľnenie - release, špeciálne - special, spojovanie - joining, tvarový spoj - form joint, silový spoj - joint by forces, látkový spoj - fabric joint, špeciálny spoj - special joint, skúšanie - testing, prítomnosti - testing presence, správnosti polohy - testing of positioning, správnosti zloženia - testing of composition, špeciálne skúšky - special tests, špeciálne procesy - special processes, justovanie - adjustment, dodatočné obrábanie - additional machining, úprava povrchu - surface treatment, balenie - packaging, demontáž - dismantling, mazanie - lubrication, predmontážne práce - pre assembly work, others

Diagram of general assembly system



Legend: vyrábané súčiastky - components produced, kupované súčiastky - components purchased, nástroje - tools, informácie - information, energia - energy, technika - technics, technológia - technology, čas - time, človek - human, informácie - information, produkty - products, odpad - waste

The notion of assembly Process for assessing the technology of the construction in terms of assembly



Legend: súčiastka - component, positioner, upínacia skrutka - clamping screw

Fundamentals of assembly work

- Shape and position control
- Screw connections
- Connecting collars, wedges and pins
- Sliding bearings
- Roller bearings
- Rotary motion transmission components
- Mechanisms for movement change

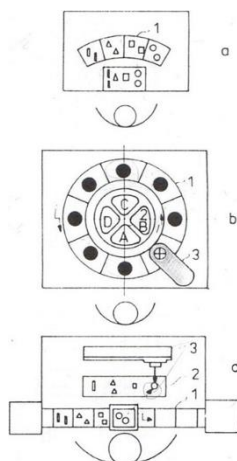
7.1. Assembly workplace

The assembly workplace is a defined space with the appropriate technical equipment. Workplace equipment is designed for manual, mechanized or partially automated assembly provided by one or more persons.

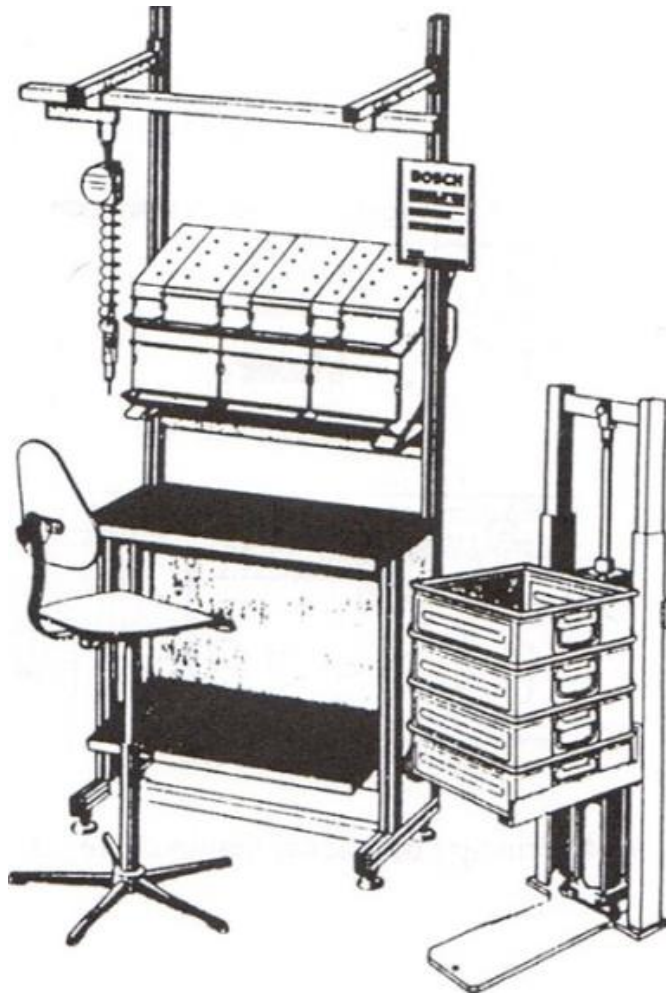
Typical parts of the assembly workplace

- Montage table
- Stool
- Footrest - it's adjustable footrest
- Motorized tools mounted on brackets using balancers
- Box trays
- Local lighting
- Shoulder and forearm support

Mounting workplace



Light desktop assembly workplace by BOSCH



Mounting equipment is also installed on the assembly workplaces

- Basic units of dismantling equipment,
- Base units of mounting devices,
- Basic units for individual workplaces,
- Basic units for assembly machines and lines,
- Assembly equipment is an assembly technique
- Manually operated (transmitted) equipment,
- Manual assembly,
- Machine assembly equipment,
- Assembly lines,
- Stationary building units

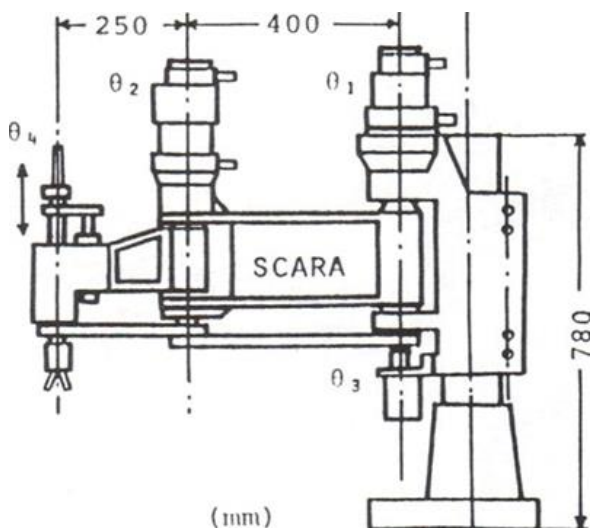
7.2. Robotic assembly

Robots are generally considered as free programmable devices. He has three or more

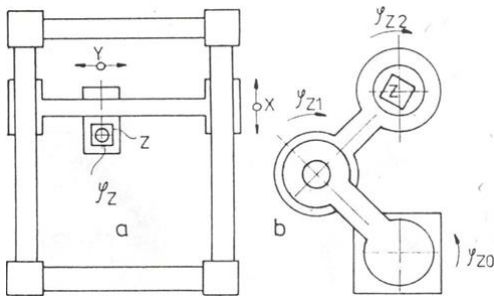
degrees of freedom. These are designed in one device.

- The portal robot works in three Cartesian coordinates.
- Robot with rectangular workspace
- The arguments about which of these structures are more advantageous for mounting are the following (Valentovič, 2001):
- The SCARA column prevents access to the mounted product by the column
- The pallet with the components and the assembled product are listed in the Cartesian system, programming the Cartesian robot does not require recalculation.
- The positioning accuracy of the scarified SCARA robot is smaller than the packed, the accuracy of the Cartesian robot is roughly the same across the work field.
- Generally, the rotation pairs of the SCARA robots are simpler, more rigid and less tangible than a linear pair of Cartesian robots, in which the portal support at its higher span represents a considerable problem in terms of weight minimization and precision errors.

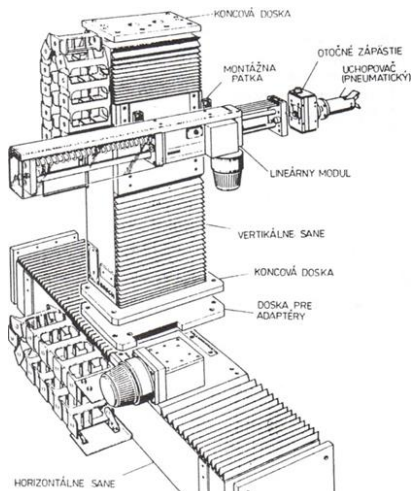
The first prototype of the SCARA robot



Mounting robots

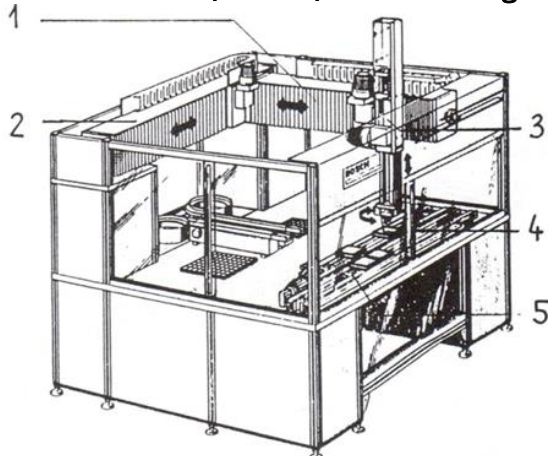


Robot with rectangular space (BOSCH)



Legend: koncová doska - end plate, montážna patka - mounting foot, otočné zápästie - swivel, lineárny modul - linear module, vertikálne sane - vertical slide, doska pre adaptéry - adapter plate, horizontálne sane - horizontal slide

Robotic center (BOSCH) with vibrating component feeder and carrier conveyor



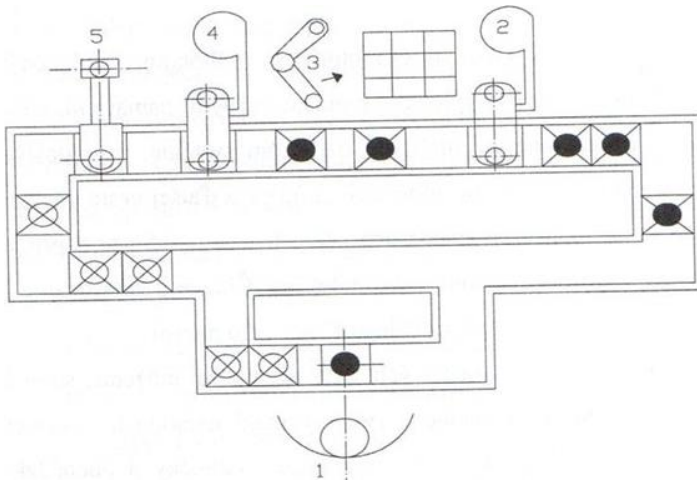
7.3. Architecture of robotic assembly techniques

- Assembly workplace with one universal robot
- The robot as a synchronous station or asynchronous lines
- Workplace as a mini line with two robots
- Flexible assembly line with circulating supports
- Assembly line SMASH
- One technological robotic systems

Automatic mounting systems

- Asynchronous machines composed of automatic assembly lines are created where we can automate operations.
- Asynchronous lines - products can be moved in a line without a carrier, i.e., having a flat base for entrainment. The base part also functions as a driver.

Line diagram of asynchronous mounting systems



Alternative (1), robots (3), assembly stations (2), unloading manipulators (5)

Synchronous mounting machines are built as multi-station machines, ordinary automata for which they are valid

- There is a fixed connection between the transport medium and the technological carrier, the carrier with the clamp of the partially assembled product moves simultaneously with the medium,
- All carriers prepared on the transport medium move synchronously. Synchronicity is parallelism in time, present,
- All workstations work synchronously. The working cycle starts at the same time and returns to its starting point after its end. The cycle time of the individual workstations is the same, but the partial cycles within the overall cycle may not

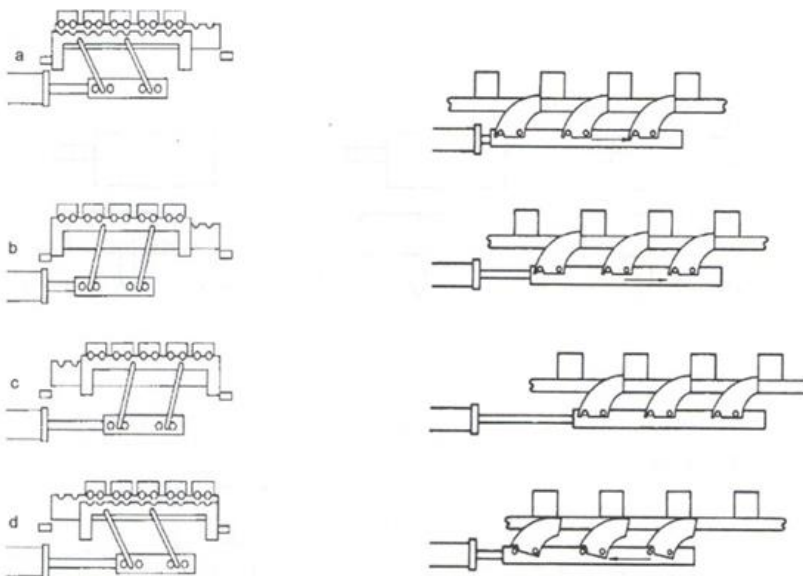
be the same, the return of the working organs to the starting position may no longer be simultaneous,

- In synchronous machines, the current work on all workstations with the simultaneous displacement of assembled products from each of the previous workstations is alternated.

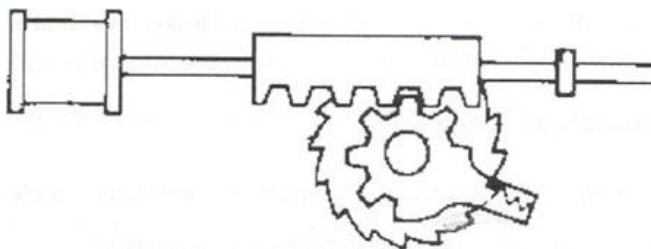
Classification of synchronous machines to:

- Rectilinear, drilled linear parts of closed circuits, rectilinear parts of tree-like circuits,
- Circular, drilled closed circuits, not only circular but also any, eg, oval, polygonal, most often quadrangular shape

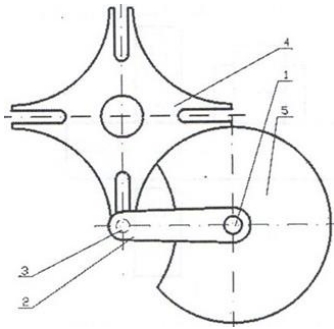
Connecting drives to mechanisms



Toothed rack bar



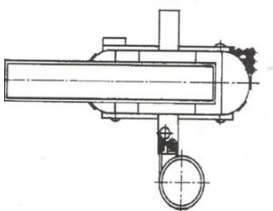
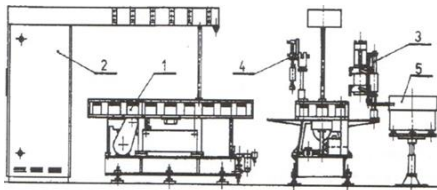
Classic Maltese Mechanism



Technological systems of synchronous machines are generally divided into:

- Machines with central drive units
- Machines with individual drive units

Linear synchronous automaton

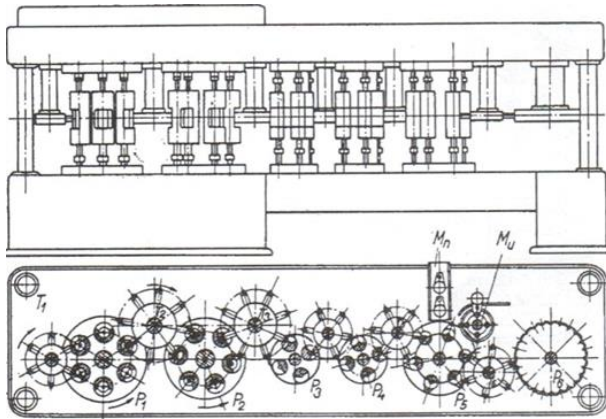


1-way transport unit for MPAX 10, 2-control unit, 3-technology units, 4 control units, 5-tanks

Continuous machines

- Assembly equipment for final assembly of cars
- Rotor assembly machines

Basic unit of the rotor machine with working P and conveyor D rotors

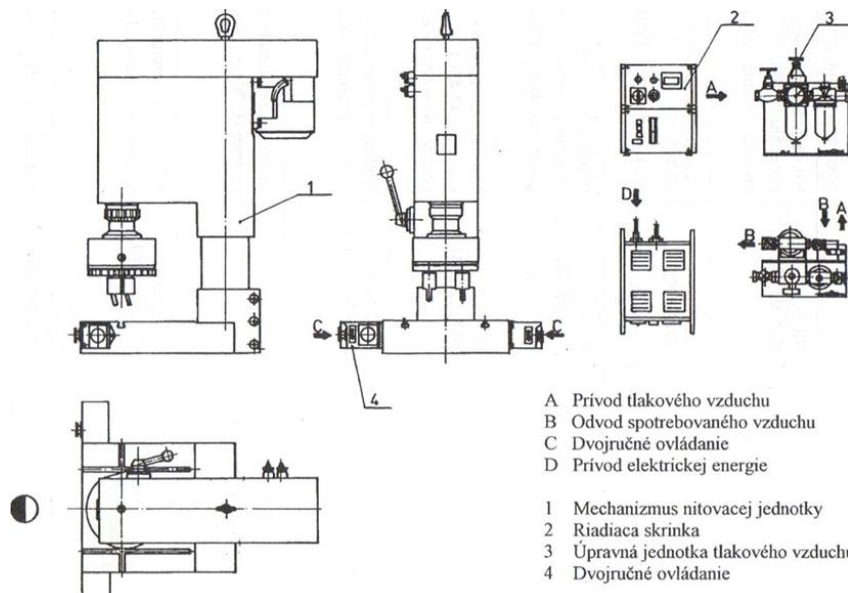


7.4. Coupling device

Assembly presses - we use for making molded and pressed joints and general molding and molding. The most common mechanisms used in mounting presses are hydraulic, pneumatic, pneumatic-hydraulic, pneumatic-mechanical and mechanical with rolling tools.

Pneumatic assembly sheet

- Riveting device - Used to form a non-detachable rivet joint. We can divide rivets:
- According to the mutual position on one and on two sides
- Depending on the type of hollow shaft rivet, full shaft and special
- According to design, direct and indirect

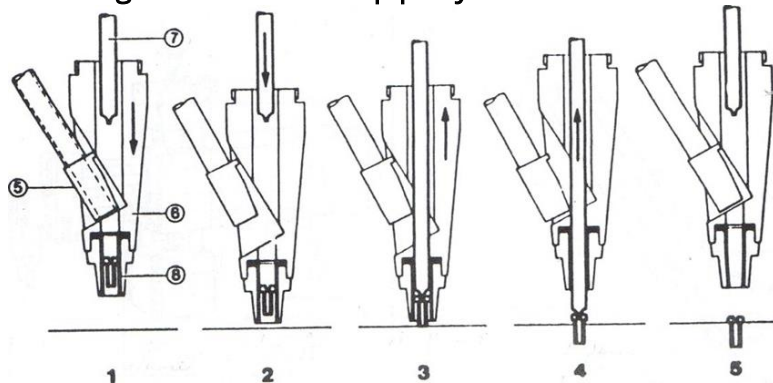


Screwdriving devices - screw connections are detachable mounting joints. The base is a bolt and also a matrix of washers of various types.

Screws and nuts are classified into special attachment, coupling, drive, movement and screws (adjusting, spacing, etc.). The threads are right and left. The most common are true threads.

Screw devices are used during assembly, among which we include technical tools for manual screwdriving, screwdrivers, torque screwdrivers, mounting wrenches, torque wrenches and motorized handwheels.

Screwing of small screws - pipe system - WEBER



The following procedure is maintained when screwing:

- 1 - Product Head - Screw Fits Head
- 2 - Product Tool
- 3 - Screwdriver
- 4 - Head up - Screw not screwed out of the head
- 5 - Up Tool

7.5. Screw drive unit

Repairs of equipment, machinery and equipment

Current quality new technology, machinery and equipment enable us to diagnose a problem quickly and securely with the use of diagnostic tools. The failure can be remedied by repairing existing components, replacing these components, or replacing whole groups or subgroups exhibiting a malfunction.

The causes of the malfunctions can be divided into internal and external

- Internal causes of failure are caused by inappropriate shapes, properties and resilience of material, technology, machinery and equipment.
- Internal malfunctions:
 - construction material (composition, properties), working mode (cooling, lubrication), surface protection, control points (diagnostics)
 - aging
 - technological - material change, material quality (defects), unattended technology, unattended working mode

External faults occurring

- wear - Abrasive, Adhesive, Erosion, Cavitation, Fatigue, Vibration, Burning
- excessive load - ignorance of technical conditions, negligence in meeting the manufacturer's technical conditions
- mechanical damage - impacts, falls, accidents, failure to observe the conditions of installation, maintenance and repair
- electric shock - electric sweep, lightning strike, improper handling
- fires - the result of some faults (excessive braking, shocks, crashes, traffic accidents)
- corrosion - atmospheric, biological, chemical, electrochemical

ENGINEERING TECHNOLOGIES 1

1. Technological procedures

Completing parts and assembling them into units takes place through certain activities. We call these activities a production process. The production process needs to be organized, planned, managed, implemented and controlled. The production process has three stages: preparation, implementation and control. In the production process, it is necessary to prescribe the order of each activity.

We designate individual manufacturing and assembly activities as a manufacturing process. If the work process is included in the production process during the production process, we call it a working procedure.

For the development of technological and working procedures, the technologist must have the following documents (Janáč, A. et al., 1994):

- production drawings of components, drawings of assemblies, subassemblies and whole machines,
- data on the number of machined pieces of products, including spare parts,
- data on the basic workshop funds,
- data on workshop equipment,
- data on the overall organization of workshop, operation, enterprise,
- data on the possibilities of cooperative relations with other workshops, factories, enterprises,
- Standards and norms (ISO, STN, CSN, EN, industry, enterprise) and the technical conditions of the product,
- Specific requirements of the ordering party.

The production process, as a basic rule for the production process, must meet these requirements (Janáč, A. et al., 1994):

- Determine the starting material or semi-finished product in terms of its dimensions and properties in terms of economy.
- Identify individual operations and their proper sequence.
- Determine the product's core technology.
- Identify and prescribe technical control operations prior to important technological operations and final operations.
- Identify universal, special and single-purpose machines. Single-purpose machines must be constructed and manufactured in advance.
- Identify special and communal tools and gauges.
- Identify special and dedicated products. Special preparations must be procured

in advance, dedicated preparations must be constructed and manufactured in advance.

- Determine optimal technological conditions, heat treatment data, surface treatments.
- Identify and prescribe ancillary operations.
- Do not break the OSH technological and work process.
- Ensure that the production process is not inconsistent with the environmental aspect.
- Provide background for technical and economic indicators.

1.1. Requirements for the technological process

- Fulfillment of functional requirements given by specification, technical drawing and standards
- Manufacture of parts with minimal effort and minimal cost of production
- Maximize the capacity utilization of the proposed production facility
- Safeguarding work safety by the technological and work process
- Respecting ecological aspects

TD design approaches

- Preparation of the technological documentation:
 - Man - Technologist without the use of PC technology
 - Computer support
 - PC support TD design:
 - Group Technology Principle (Variant Approach)
 - Editing a technological process already in place for a component with similar features
 - Exact principle (generative approach)
 - Mathematical modeling and generation of new techniques. Regardless of similarity

Depending on the type of production used, we divide the technological processes into:

- Framework (and working) technological process (small-lot and piece production) - contains only a list of operations without further division
- Detailed (and working) technological progress (serial and mass production) - contains all 12 of the items listed above. The procedure must be detailed because it is produced by workers with the lowest salary scales.

Manual approach to TD design

Use catalogs of tools, preparations, gauges, various tables, diagrams, nomograms to determine cutting conditions

Technologist processes:

- Component information
- Information on machinery and auxiliary equipment
- Information on production possibilities (technological methods, heat treatment, clamping)
- Based on the knowledge, knowledge and experience of the technology
- Techn. The procedures for a similar component can be distinguished by the order of operation used by the production equipment as well as the cutting parameters
- Small companies with a small assortment of manufactured components.

PC support TD design

Optimization of activities

- Speed up the design process
- Objective and flexible ways to respond to changing customer demands and changing manufacturing conditions
- CAPP (Computer Aided Process Planning)
- PC support for the following areas:
- Component Analysis - Analysis of the production profile
- Technical preparation of the production of production aids
- Database processing in pre-production stages
- Archiving digitized technologist. documentation
- Stop, edit, and modify texts in technology
- Calculation of Cutting Parameters

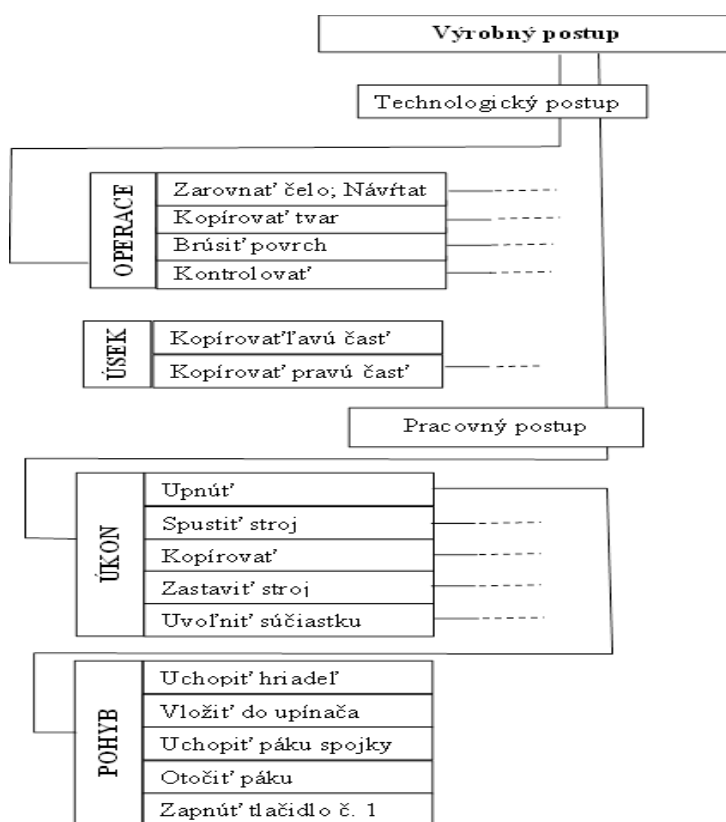
Advantages:

- Higher productivity of technologists
- Rationalization of TD design
- Greater clarity of TD
- Standardization of TD
- Objectivization of the technological process
- Optimizing TD
- Shortening running times for TD design
- Reducing boot time
- Integration with application programs and systems
- Greater flexibility to change the assortment
- Greater flexibility to change customer requirement

Economic benefits:

- Increased capacity utilization of existing machinery,
- Reduction of tools, preparations and aids
- Reducing bad products
- Reduction of workshop costs
- Reduction of labor
- Better use of material

1.2. Breakdown of the technological process



5

Legend: výrobný postup - production process, technologický postup - technological process

operace : zarovnat' čelo, navrtat, kopírovat' tvar, brúsit' povrch, kontrolovat' - operation: straighten the front, drill, copy the shape, grind the surface, check

úsek: kopírovat' ľavú časť, kopírovat' pravú časť, pracovný postup - section: copy the right part, copy the left part, workflow

úkol: upnúť, spustiť stroj, kopírovat', zastaviť stroj, uvoľniť súčiastku - task: clamp, start the machine, copy, stop the machine, release component

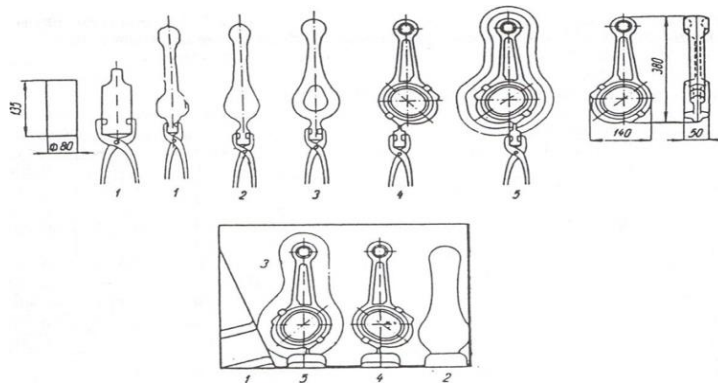
pohyb: uchopiť hriadeľ, vložiť do upínača, uchopiť páku spojky, otočiť páku, zapnúť tlačidlo č. 1 - movement: grasp the shaft, clamp, grasp the clutch lever, turn the lever, switch the button 1

task: clamp, start the machine, copy, stop the machine, release the component

Technological processes for die forging

For the forging process, the process takes account of the economically and technically best manufacturing process. This procedure takes into account the sequence of the basic works, operations, sections, operations and movements needed to produce forgings. Further, we need to take into account further standardization and production data. These are data relating to material, semi-finished products, machines, tools, tools, tools, etc.

Picture technological process of forging buckets

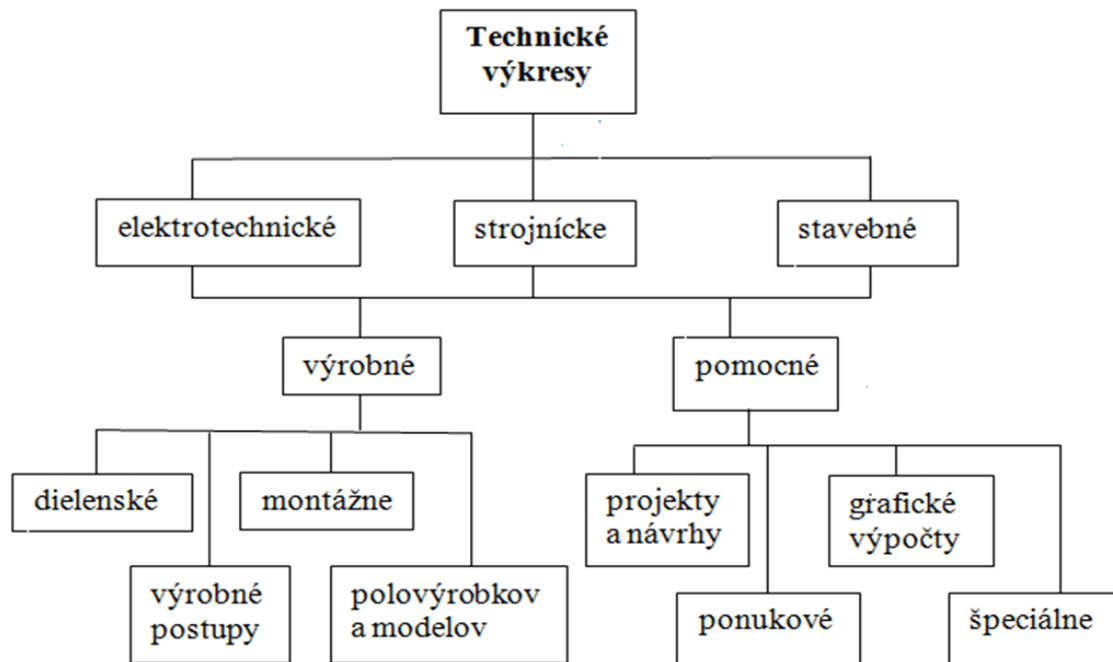


1.3. 2-Technological documentation

Technical drawing:

- Nose component of graphic documentation
- Design according to valid techn. Standards
- Applications in electrical engineering, engineering, construction

Divided technical drawings

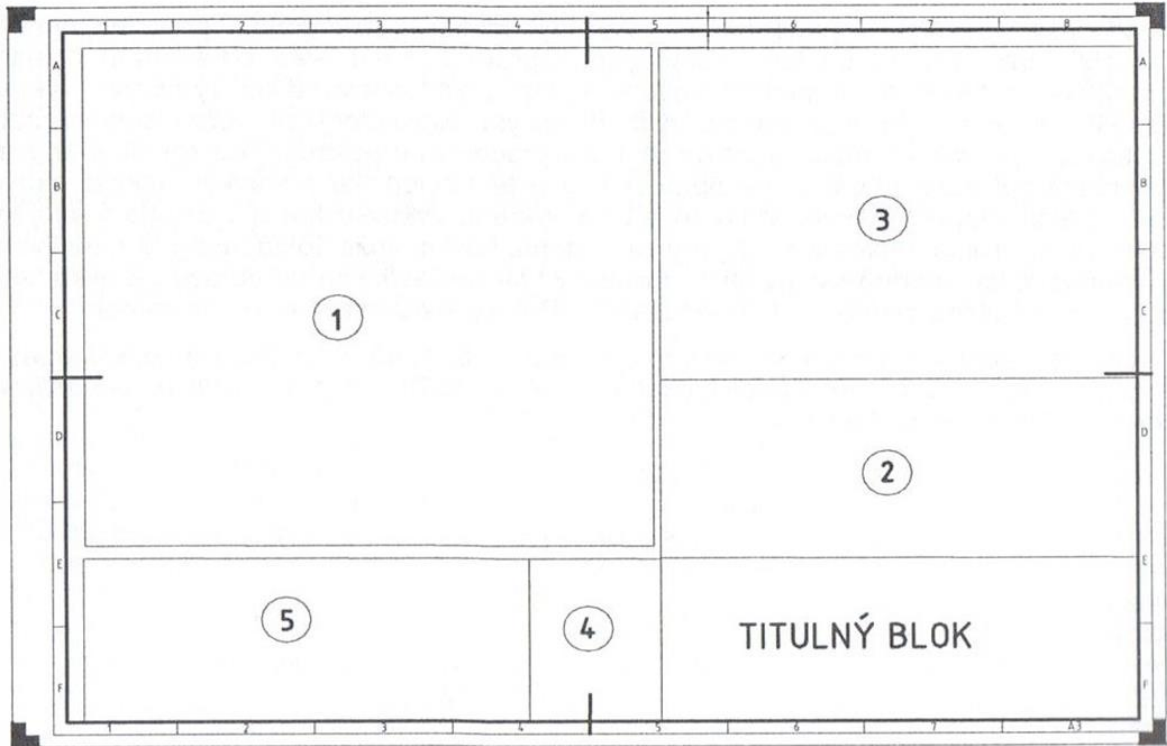


Legend: technické výkresy - technical drawings, elektrotechnické - electrical drawings, strojnícke - engineering drawings, stavebné construction drawings, výrobné production drawings, pomocné auxiliary drawings, dielenské - workshop drawings, montážne - assembly drawings, výrobné postupy production processes drawings, polovýrobnkov a modelov - drawings of semi-finished products and models, projekty a návrhy - project drawings and designs, grafické výpočty - graphical calculations, ponukové - drawings at demand, špeciálne - special

Drawing formats:

Označenie formátu	Formát výkresu (orezaná kópia)	Orezaný originál (matrica, rematrica)	Výkresový list (najmenší dovolený rozmer)
hlavné			
A0	841 x 1189	851 x 1199	857 x 1205
A1	594 x 841	604 x 851	610 x 857
A2	420 x 594	430 x 604	436 x 610
A3	297 x 420	307 x 430	313 x 436
A4	210 x 297	220 x 307	226 x 313

Legend: označenie formátu - format, hlavné - main, formát výkresu (orezaná kópia) - drawing format (trimmed copy), orezaný originál (matrica, rematrica) - trimmed original (matrix, rematrix), výkresový list (najmenší dovolený rozmer) - drawing sheet (the minimum allowed size)



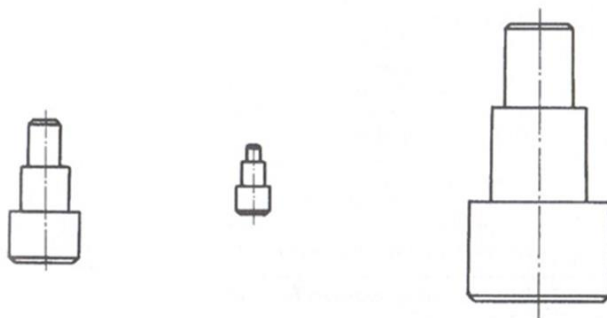
Scale:

Determined by the ratio of the length element of the object shown in the drawing to the actual length dimension of the same element of the object

1st measure for true size - 1: 1

2. Magnification for - 2: 1

3rd reduction scale - 1: 2



a) mierka 1:1










b) mierka 1:2

c) mierka 2:1

Mierka strojných výkresov			
Skutočná veľkosť	Mierka zväčšenia	Mierka zmenšenia	
1 : 1	2 : 1	1 : 2	1 : 200
	5 : 1	1 : 5	1 : 500
	10 : 1	1 : 10	1 : 1000
	20 : 1	1 : 50	1 : 5000
	50 : 1	1 : 100	1 : 10000

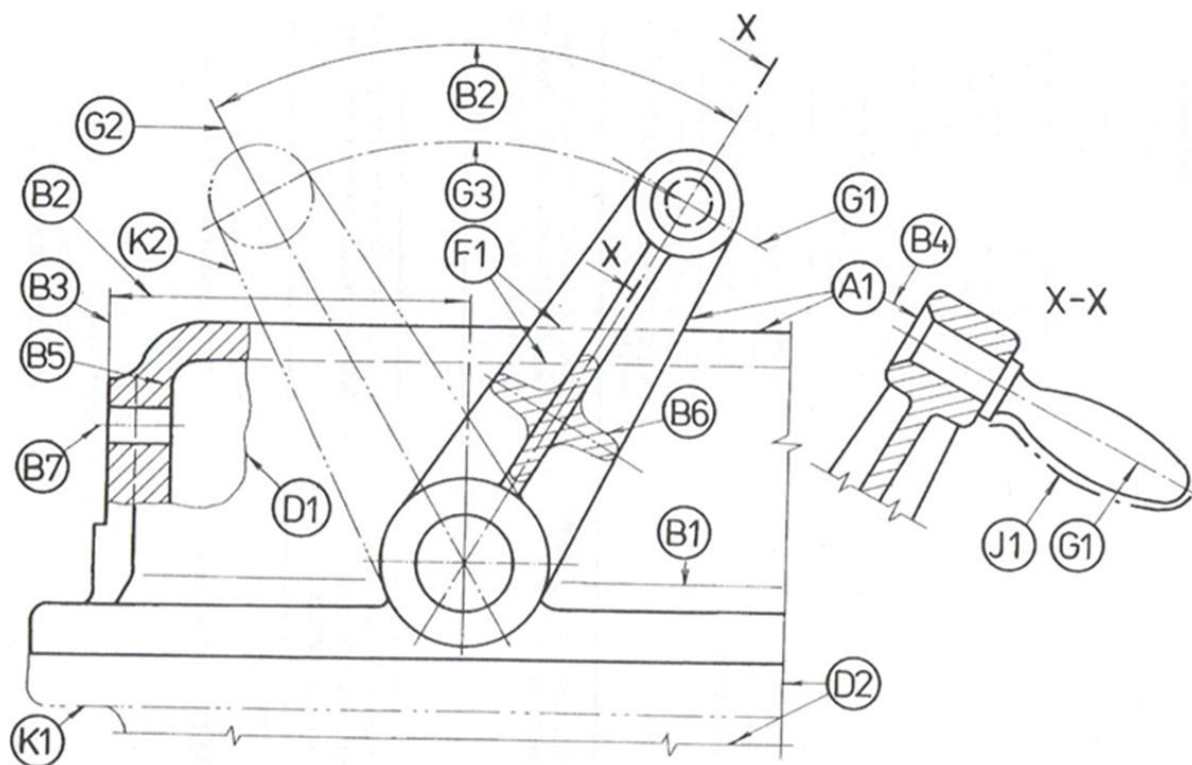
Legend: mierka - measuring scale, mierka strojných výkresov - engineering drawings measuring scale, skutočná veľkosť - actual size, mierka zväčšenia - magnification rate, mierka zmenšenia - reduction rate

Types of drawings on technical drawings:

číslo	zobrazenie	popis
01.1	Súvislá tenká čiara 	Používa sa na kreslenie: -pomocných kótovacích čiar, kótovacích čiar -odkazových čiar, šrafovania -ohraničenia podrobností -čiar sietí
	Súvislá tenká čiara kreslená od ruky 	Používa sa na: -prednostne na ručné zobrazenie ohraničenia prerušovaných alebo čiastočných pohľadov -na zobrazenie rezov a prierezov, ak to nie je os súmernosti
	Súvislá tenká čiara so zalomením 	Používa sa na: -zobrazenie ohraničenia čiastočných alebo prerušovaných pohľadov -zobrazenie rezov a prierezov, ak ohraničením nie je os súmernosti
01.2	Súvislá hrubá čiara 	Používa sa na kreslenie: -viditeľné obrysy a hrany, -čiar chrbtov závitov s plnou hrúbkou profilu -zobrazenie grafov, diagramov -zobrazenia osových dĺžok priečkovej konštrukcie
02.1	Čiarkovaná tenká čiara 	Používa sa na: -zakrytie hrán a obrysov
02.2	Čiarkovaná hrubá čiara 	Používa sa na: -označenie úpravy povrchu
04.1	Čiara tenká s dlhou čiarou a bodkou 	Používa sa na: -osi, čiary na označenie súmernosti -rozstupová čiara ozubení -rozstupová čiara dier
04.2	Čiara hrubá s dlhou čiarou a bodkou 	Používa sa na: -označenie rovín rezu -deliacich rovín v obrazoch rezov
05.1	Tenká čiara s dlhou čiarkou a dvoma bodkami 	Používa sa na kreslenie: -označenie susediacich súčiastok -ťažiskové osi -posunutú tolerančné pole

Number	Line	Description
01.1	Continuous thin line	Used for drawing: - auxiliary dimensioning lines, dimensioning lines - hatching - details borders - network lines
	Continuous hand-made line	Manually display a border of broken or partial views To display cross-sections and cross-sections if it is not an axis of symmetry
	Continuous thin line with wrap	Manually display a border of broken or partial views To display cross-sections and cross-sections if it is not an axis of symmetry
01.2	Continuous thick line	Visible outlines and edges Thread back line with full profile thickness graphs, diagrams axial lengths of crossbar construction
02.1	Dashed thin line	Cover edges and outlines
02.2	Dashed thick line	Marking surface treatment
04.1	Thin line with long line and dot	Axes, lines to mark symmetry Spacing of gearing Spacing of hole
04.2	Thick line with long line and dot	Marking section levels Partition in section
05.1	Thin line with long dash and two dots	Designation of adjacent components Centre of gravity Sifted tolerance field

Practical examples of use:



Základné typy čiar	Hrúbka čiar	Používanie a označenie čiar
01 súvislá	hrubá	viditeľné obrysy a hrany A1
	tenká	neurčené hrany B1, pomocné a kótovacie čiar B2 až B4, vyznačenie materiálu súčiastky v reze B5, obrysy vykreslených prierezov B6, krátka os B7
01 súvislá od ruky	tenká	prerušenie obrazu D1
01 súvislá zo zalomením	tenká	prerušenie obrazu D2
02 čiarkovaná	tenká/hrubá	zakryté obrazy a hrany F1
04, 08, 10 čiara s dlhou čiarkou a bodkou	hrubá	vyznačenie vynášaných častí alebo plôch J1
	tenká	os rotácie G1, os súmernosti a stopy rovín súmernosti G2, trajektórie G3 a stopy rovín rezov
05, 09, 12 čiara s dlhou čiarkou a dvoma bodkami	tenká	obrysy susedných predmetov K1, krajné polohy pohyblivých častí K2, ťažnice, východzie alebo konečné obrysy

Basic types of lines	Line thickness	use
01 continuous	Thick Thin	Visible outlines and edges A1 Undetermined edges B1, auxiliary and dimensional lines B2 – B4, material of component in section B5, outlines of sections B6, short axis B7
01 continuous, hand-made	Thin	Image interruption D1
01 continuous with wrap	Thin	Image interruption D2
02 dashed	Thin/thick	Covered images and edges F1
04, 08, 10 line with long dash and dot	Thick Thin	Marking areas J1 Rotation axis G1, symmetry axis G2, trajectory G3, section planes
05, 09, 12 line with long line and two dots	thin	Outlines of adjacent object K1, positions of movable parts K2, medians, starting or resulting outlines

Production drawing requirements

- Production as small as possible
- Arrangement - main assembly, assemblies, subassemblies, component drawings
- Title block (description field)
- Item List (BOM)

Title block:

POL.	NÁZOV	ČAP	Č. VÝKRESU	Č. NORMY	MATERIÁL	J.	MNOŽ.	HMOTN(kg)
VYPRACOVAL:		PUKANCOVÁ	SYMBOL	ZMENA			DATUM	PODPIS
KONTROLOVAL:		BENCZY						
MATERIÁL	DÁTUM VYHOTOVENIA							
11 600	15.3.2010		STREDNÁ ODBORNÁ ŠKOLA AUTOMOBILOVÁ COBURGOVA 7859/39, 917 02 TRNAVA					
ROZMER, POLOTOVAR, NORMA			NÁZOV					
KR 55x70			ČAP					
HODNOTENIE STAVU POVRCHU		VŠEOB.TOLERANCIE	ČÍSLO VÝKRESU					
			10-01					
METÓDA ZOBRAZOVANIA		MIERKA	LIST ČISLO:					1
		1:1						

Legend: pol.- item, názov - name, čap - pin, č. výkresu - number of drawing, č. normy - standard, materiál - material, množ. - quantity, hmotn. - mass, vypracoval - prepared, kontroloval - checked by, datum vyhotovenia - date of preparation, rozmer, polotovar, norma - dimension, semi-finished product, standard, hodnotenie stavu povrchu - evaluation of surface, všeob. tolerance - general tolerance, metóda zobrazovania - display method, mierka - measuring scale, zmena - change, dátum - date, podpis - signature

POZ.	NÁZOV - ROZMERY	VÝKRES - NORMA	MATER.	J.	MN.	kg

Item list:

Legend: pozn. - note, názov - rozmery - name / dimensions, výkres - norma - drawing / standard, materl - material, mn. - quantity

Component Drawings:

- A separate drawing for each component
- Appropriate display and shape of the component
- Copying parts
- Roughness and surface treatment
- Heat treatment
- Tolerance of dimensions and geometric shapes
- Technical requirements in the description field
- Table of data for gears
- Description field including the dimensions of the blank, material type, data for inspection, production and material testing

Drawings of semi-finished products:

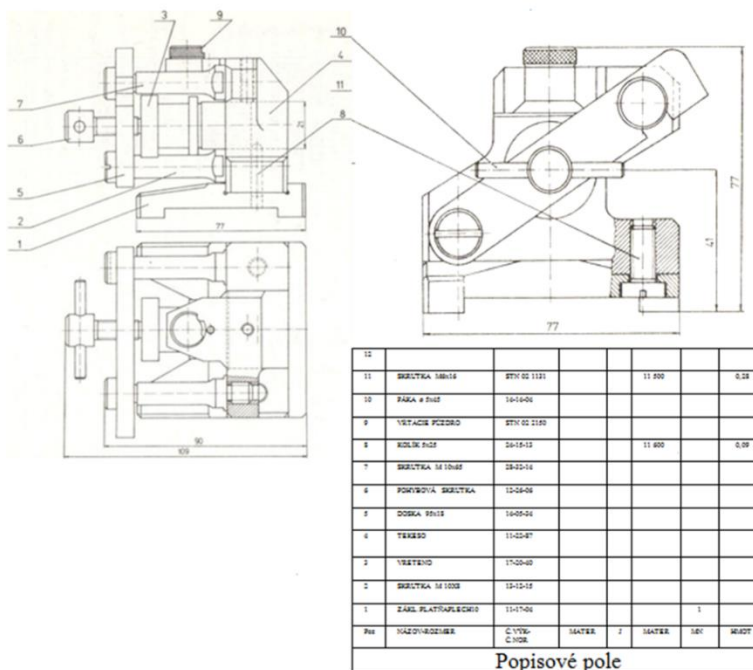
- Kind of material
- Properties and quality of the material
- The initial state of the material - in the form of a semi-finished product
- The number of the relevant standard

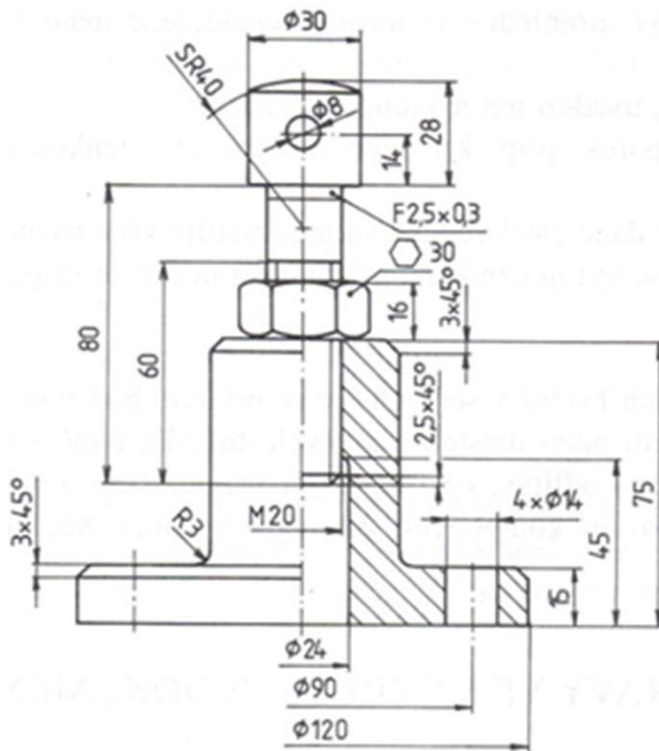
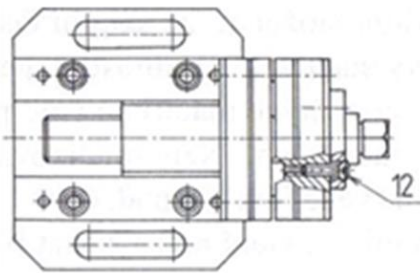
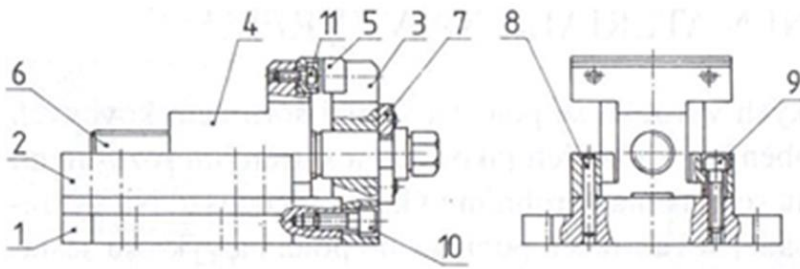
Casting drawings:

- Data for drawing a model drawing plot and for working in a model room and a lavatory
- Technological accuracy when casting
- Properly designed material
- Simple dimensional control and simple machinability
- Required degree of accuracy (above the field of description)
- Design and technology rounding
- Connecting walls, holes in castings

Drawing drawings:

- View assembly assembly in assembled state
- Dimensioning of the main dimensions
- Position of the assembly unit components
- Data on bonded, soldered and other joints



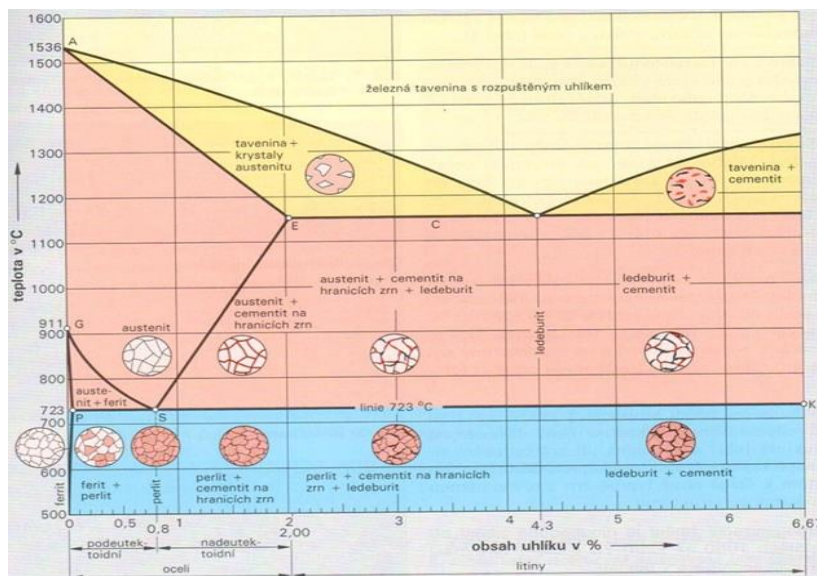


2.Heat treatment

The technological processes of heat treatment of metals used in technical practice can be divided into four basic groups

- Procedures in which we get a more balanced structure compared to the baseline. They are used with different concrete targets for all metallic materials. These procedures are referred to by the general annealing name.
- The processes in which we create structures of a degree of imbalance. For steel, such processes are hardening and tempering. In aluminum castings (or other non-ferrous alloys) a process known as curing is used.
- Procedures in which, in addition to structural changes, the chemical composition of the surface layers of the material, i.e. the chemical-heat treatment, changes.
- Procedures in which the desired change in properties is achieved by a combination of intensive molding and heat treatment, i.e. thermomechanical processing.
(Skočovský, P. et al., 2006)

Diagram of iron alloys with carbon and structural regions of materials with different C content



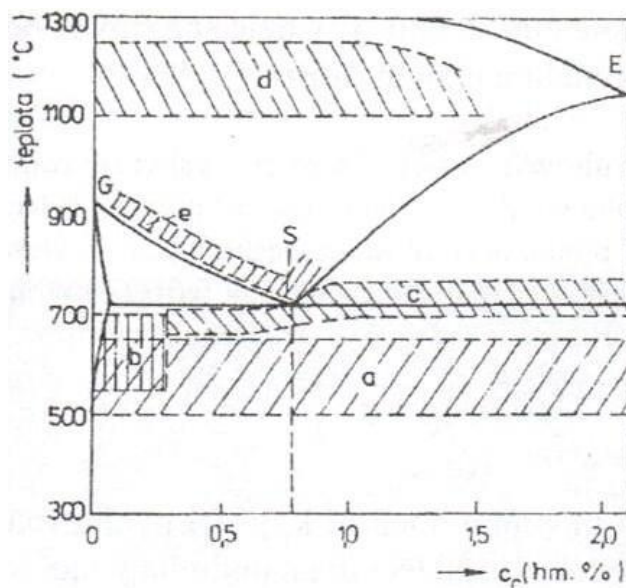
2.1. Annealing

Annealing is a method of heat treatment. In this way, we want the component to achieve a steady state. The principle of annealing is the uniform heating of the component to the annealing temperature, the stamina at that temperature for a certain period of time and, consequently, the slow cooling is generally followed.

Overview of steel annealing processes

	Way Annealing	Annealing temperature [°C]	Mark the first additional digit after the steel mark
Without recrystallization	-softboiled	680 - 720°C	1X XXX.3
	-recrystallisation	550 - 700°C	-
	-prote flake	650 - 700°C	-
	- For removal Fragility	200 - 300°C	-
With recrystallization	- For removal Internal stresses	500 - 650°C	-
	-normalization	750 - 900°C	1X XXX.1
	-homogenizing	1000 - 1200°C	-
	-isothermic	600 - 750°C	-

Areas of annealing temperatures in the equilibrium diagram

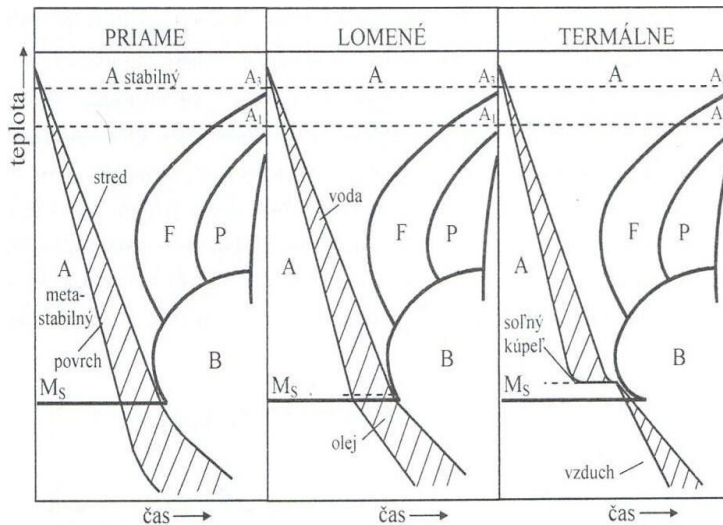


2.2. Hardening and tempering

Fertility is the ability of steel to achieve higher hardness. Tempering is the heating of the steel to the recrystallization temperature, the stamina at that temperature and subsequent cooling at a higher rate, such as the lower critical cooling rate. The most moderate and economically most conducive environment is air.

The aim of quenching is to achieve a different state such as the equilibrium state.

Types of hardening



Legend: priame - direct, lomené - angled, termálne - thermal, teplota - temperature, čas - time, stabilný - stable, stred - centre, povrch - surface, olej - oil, solný kúpeľ - saline bath, vzduch - air

- Direct quenching - we cool off the temperature of Austenitisation. In carbon steel, it is usually water, with small parts in steel.
- Angled hardening - Austenitic components that are normally soaked in water are cooled in two environments.
- Thermal quenching - the component is cooled at a greater speed than critical in an environment with a temperature above the M_s of the respective steel, where it remains for the time required to equalize temperatures throughout the cross section.
- The tempering is the heating of turbid steel with a martensitic structure at temperatures A_1 in order to create structures closer to the equilibrium. From a technological point of view, we distribute tempering tempering at low temperatures (up to 300°C) and at high temperatures (above 400°C).

2.3. Chemical-heat treatment

The techniques of diffusion saturation of the surface of the components by some elements include chemical-heat treatment. The objective of chemical-heat treatment is to induce changes in the mechanical, chemical and physical properties of the elements. We understand these processes by diffusion saturation of the steel surface by various elements such as Al, B, C, N, C + N, Si and others. They are both metals and non-metals.

Depending on when we invoke the desired properties, we divide the processing meth-

ods into:

- Nitriding (during diffusion layer formation),
- Cementing, nitrocementing (after heat treatment of the saturated surface).

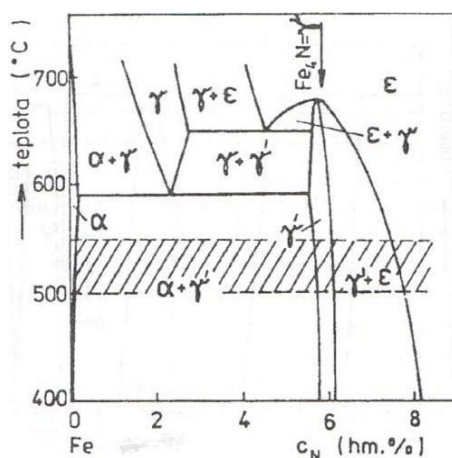
2.4. Cementing

Surface of carbon, low alloy and alloyed steels with low carbon content (up to 0, 25% C) with a carbon network for eutectic or, respectively, Nadeutectoid concentration 0.8-1% wt. Carbon).

After cementation, the parts must be dusted. We use several ways of quenching:

- Direct hardening of the curing temperature,
- Direct quenching with subcooling - after cementation, the batch in the furnace is cooled to 840-850 ° C) and becomes turbid from this temperature,
- Simple tempering after heating - the cooling of the component is used to room temperature, then the new heating to the temperature between AC1 and AC3 (840 - 850 ° C), the core of the component will melt and the structure will form ferrite and martensite,
- Double quenching after heating - the first hardening of the austenitizing core temperature (above AC3 - 880 - 900 ° C) and the second quench from the hardening temperature of the layer (above AC1 - 780 - 820 ° C).

2.5. Nitriding

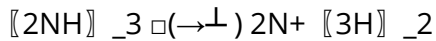


Basic idea of structure of nitriding

Can be obtained from the equilibrium Fe-N diagram

Nitrite in a gaseous or liquid environment.

In the gaseous environment, ammonia is the source of nitrogen. This decomposes in contact with the surface of the component. We can formulate the equation:



Nitriding usually takes 12 to 60 hours. The rate of nitriding increases with increasing temperature.

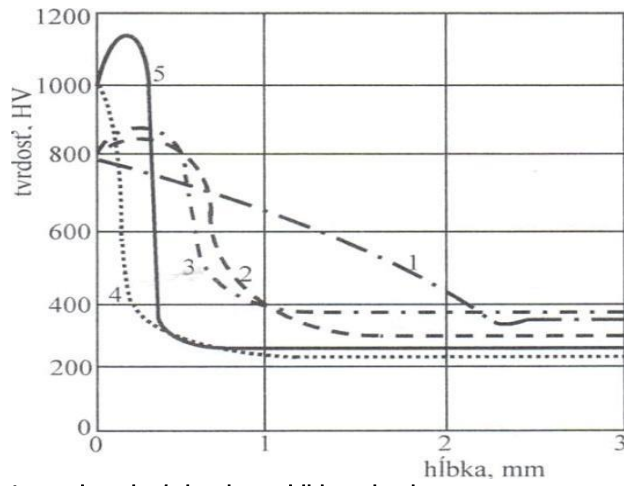
A liquid environment is created by a nitrided salt bath. This bath consists of a mixture of sodium cyanide (NaCN) and potassium cyanate (KCNO). In the salt bath, the nitriding time is shorter than in the gas (0.5-4).

Other methods of chemical-thermal processing

- Nitro-cementation - surface saturation with carbon and nitrogen at temperatures around AC3,
- Carbonitriding - surface saturation with carbon and nitrogen at temperatures around 650-750 ° C,
- Sulphonitriding - surface saturation with sulfur and nitrogen in a gaseous or liquid medium (elephant bath - 95% sodium cyanide and 5% sodium sulphite)
- Sulfonating - saturation of the surface of the components by sulfur. It is a process similar to sulfonitriding,
- Diffusion plating - chromium (diffusion chromium), silicon, aluminum (alloying, alumination) - corrosion resistant and corrosion, boron increases the hardness of the surface layer and resistance to wear.

The course of hardness in different layers

1-surface hardening, 2-cementation, 3-nitro-cementing, 4-carbo-nitriding, 5-nitriding

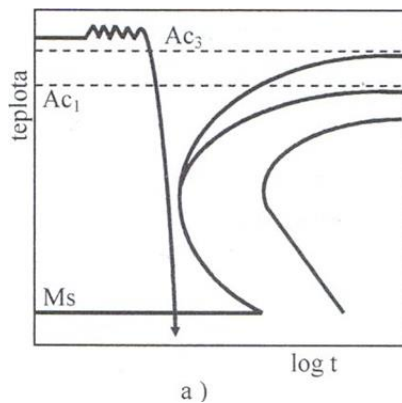


Legend: tvrdost - hardness, hlbka - depth

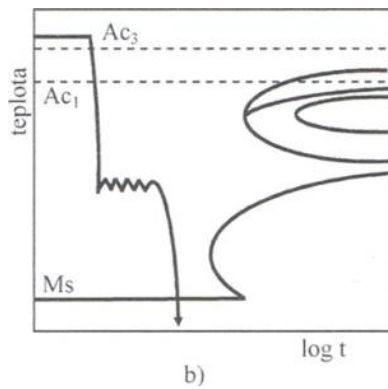
2.6. Thermal-mechanical management

The methods of thermo-mechanical treatment are most often divided according to the molding temperature:

Low temperature thermomechanical processing



High temperature thermomechanical processing



Other methods of thermo-mechanical processing

- **Isoforming** - rapid cooling from the austenitic temperature to the perlite area,
- **Dynamic deformation aging of martensite** - deformation follows hardening, applied at temperature (150-200 ° C).

3. Technological procedures with computer support

The constant pressure of competition forces designers and technology to work on new solutions and tackle new challenges. Cutting down production times, improving quality, changing the production program quickly, and other necessary changes are just some of the issues that need to be addressed. The starting point for dealing with complex situations that are very common in practice is the use of integrated computer production

CAD Systems (Computer Aided Design) are program tools designed to be used in the initial stages of the manufacturing process, in the development, construction and technological preparation of production. The CAD area is just one part of the deployment of computing technology in the industry. In summary, this deployment is marked with CA technology.

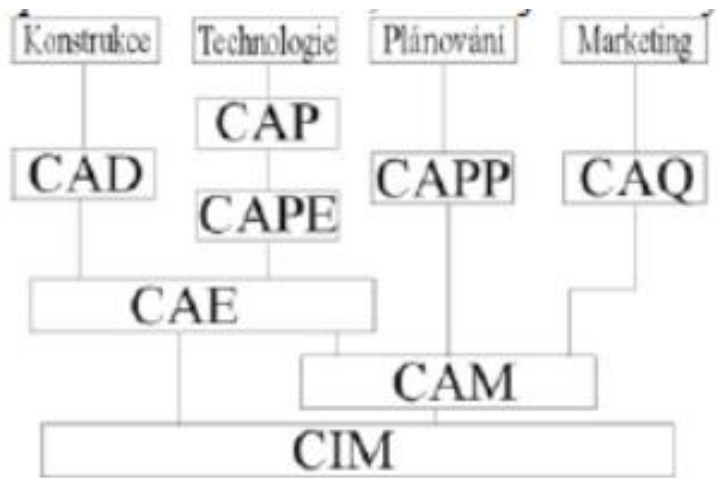
CAX stands for Computer Aided. CAX technology means the use of computing technology (technical and software) to promote the creative approach

Users (designers, technologists, calculators, and other professions) to solve tasks related to the production process.

CAX technologies can be divided into the following areas:

- CIM – Computer Integrated Manufacturing
- CAM – Computer Aided manufacturing
- CAE – Computer Aided Engineering
- CAD – Computer Aided Design
- CAPE – Computer Aided Production Engineering
- CAP – Computer Aided Programming
- CAPP – Computer Aided Process Planning
- CAQ – Computer Aided Quality
- CMR - Customer Management Relationship - Customer Relationship Management System
- PDM - Product Data Management - product data management
- PLM - Product Lifecycle Management - product lifecycle management - an information platform that includes technical, product and marketing data on the product. The manufacturing company needs a production management system, a vendor management system, a customer relationship management system, a quality management system, and a system for engineering and innovation. PLM unifies these systems and creates a consolidated set of product information.

3.1. Relationship between different areas of CA technologies



Obr. 1 Zařazení CAD do oblasti CA technologií

CAD Abbreviation - Computer Design Support, includes all program tools designed for the design process. This means that it is designed and optimized for the design solution.

The CAD area itself can be further subdivided into areas such as:

- CADD - Computer Aided Design and Drawing
- CAPD - Computer Aided Pipe Design
- FEM - Finite Element Method (in this case, the abbreviation CAE - Computer Aided Engineering)
- GIS - Geographic Information System
- Computer Aided Manufacturing

All CAD systems are tools. That is why they need to be accessed as well. The knowledge of any CAD system in no way assures that a system engineer will be a good designer. Implementation of CAD technology has brought a qualitative shift in design methodology. CAD systems have gone through several development stages

All stages were driven by the development of computing:

- mainframe computers allowed to create two-dimensional drawing documentation
- workstations have been able to draw three-dimensional objects on the vector screen whose shapes have been entered with the coordinates of the keyboard
- the possibility of creating drawing documentation was made accessible by the PC
- improvement of PC performance was made possible by three-dimensional mod-

- eling, transfer of models into drawing documentation
- visualization and animation, internet connection

Designing processes make full use of CAD systems, providing the following benefits:

- easy collaboration amongst the stakeholders
- easy creation of a large number of variants and design modifications
- using optimization methods
- a perfect information system

Activities to be carried out by the design in the design process:

- assignment of technical task and processing of technical conditions
- preliminary calculations with the design of the project
- normalization and technical and economic assessment of the proposal
- making assembly drawings and production drawings, wiring diagrams
- making bills, control assemblies, and assembly drawings
- participation in the production of the prototype or directly at the start of production, repair of the drawing documentation
- proposals for external orders, materials for packing and transport of the product
- instructions for use and use of the product, creation of leaflets

The design process can be divided into the following steps:

- examining the request
- definition of the problem
- synthesis
- analysis and optimization
- evaluation
- implementation of the project

CAD modules can be divided into four categories:

- geometric modeling
- engineering analysis
- design assessment
- drawing up and drawing up the drawings

CAD systems can be divided into four categories:

- lower
- medium
- higher
- large

The following criteria are used to determine which category falls into:

- drawing and modeling tools available
- purchase price
- product support and reseller support

CAD systems such as AutoCAD LT, TurboCAD Delux can be included with CAD systems of lower class CAD systems. These are systems that support the creation of two-dimensional objects (models) and enable the drawing documentation to be generated. Some systems provide the possibility of creating a simple three-dimensional construction using a wire modeller.

CAD systems of the middle class can be represented by AutoCAD, Microstation, TurboCAD Professional, KeyCreator (CADKEY). All of these systems include three-dimensional modeling tools, including visualization tools. They are suitable both for drawing drawing documentation and for creating the documentation for the marketing department as a three-dimensional representation of the finished product. The advantage of these systems is their openness, making it possible to create special programs - superstructures, according to the requirements of the designers.

Large CAD systems are fully three-dimensional systems that require the creation of a three-dimensional model for drawing documentation. The model then creates assemblies or drawing documentation. One of the advantages of higher-end CAD systems is that they have parametric modellers. For users this means that the drawing model is always connected, and any changes made in any part will be reflected in both the drawing and the model. Also, these systems are open and allow the creation of superstructures according to user requirements.

3.2. Interface between computer and human

- DOS - text mode
- MS Windows - Graphical working environment
- Virtual reality - superstructure over the operating system
- Virtual Reality (VR) is the latest step in the development of a human-to-computer communication interface.

The development of the communication interface has taken place around the following stages:

- 1st punch tape and print output - past
- 2. Keyboard and Monitor - Present. For the comprehensible communication, a graphical communication environment was created - GUI - Graphics User Inter-

- face (icon menu, distribution of GUI into any number of panels - windows)
- 3. Virtual reality - a near future

The CoR can cover the following areas of human activity:

- modeling
- communication
- driving
- fun

Three levels of VR are currently distinguished:

- passive
- active
- interactive

Passive VR - is characterized by the fact that we can observe, listen, feel, but it is not possible to control the movements.

Active VR - Provides the ability to explore the environment, the possibility of moving in a virtual environment (flying, walking, swimming ...). At this stage, walks are done through buildings or through the viewing of virtual artworks.

Interactive VR - Allows you to familiarize yourself with the environment, explore it and change it according to our ideas (grab a book and scroll through it).

We perceive the virtual world in three ways:

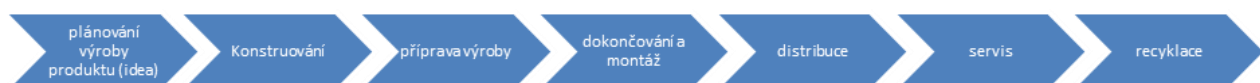
- vision
- 2nd hearing
- 3rd Hmat

Vision - The VR system respects basic imaging patterns, ie perspective and illumination (imaging was the first method of entering the VR).

Hearing - sound perceptions help to understand VR - today is the usual "surround"

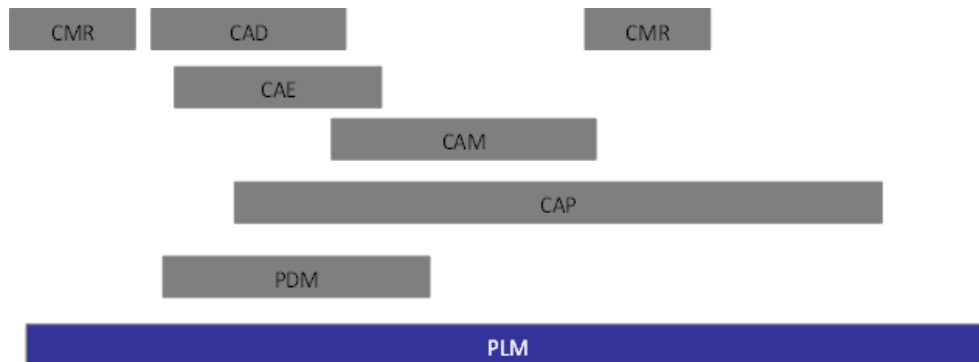
Touch - a very important opportunity to understand the facts in the CoR.

Manufacturing company management process using PLM and CAD / CAM integration:

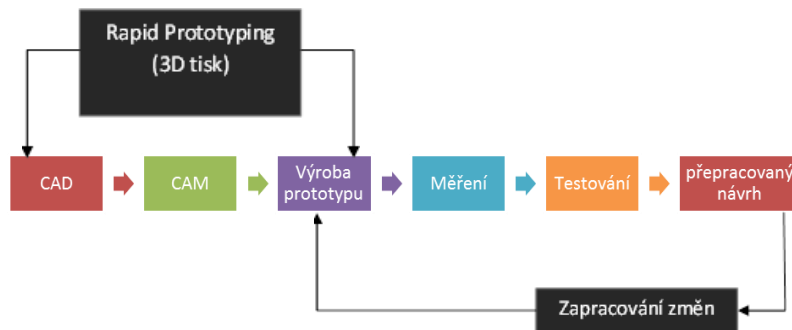


Legend: plánování výroby produktu - planning manufacturing of product, konstruování - construction, příprava výroby -

production preparation, dokončování a montáž - finishing and assembly, distribuce - distribution, servis - service, recyklace - recylation



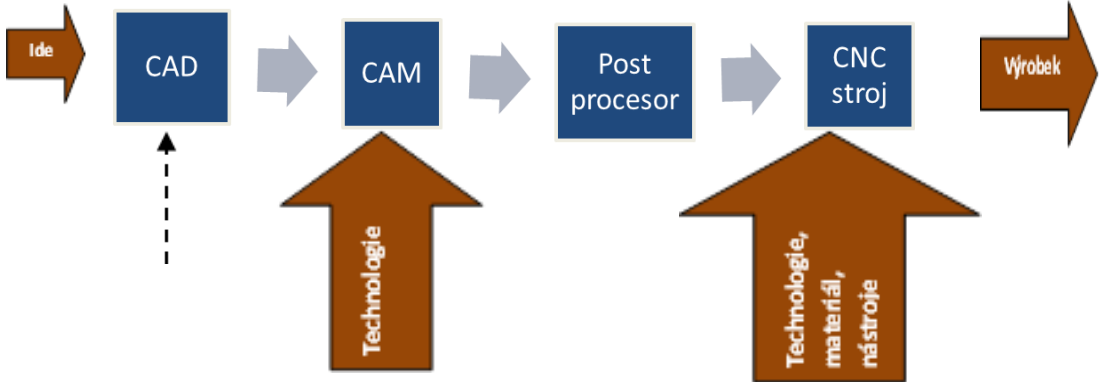
Product development process using CAD / CAM:



Legend: výroba prototypu - prototype manufacturing, měření - measuring, testování - testing, přeprocovaný návrh - changed design, zpracování změn - including changes

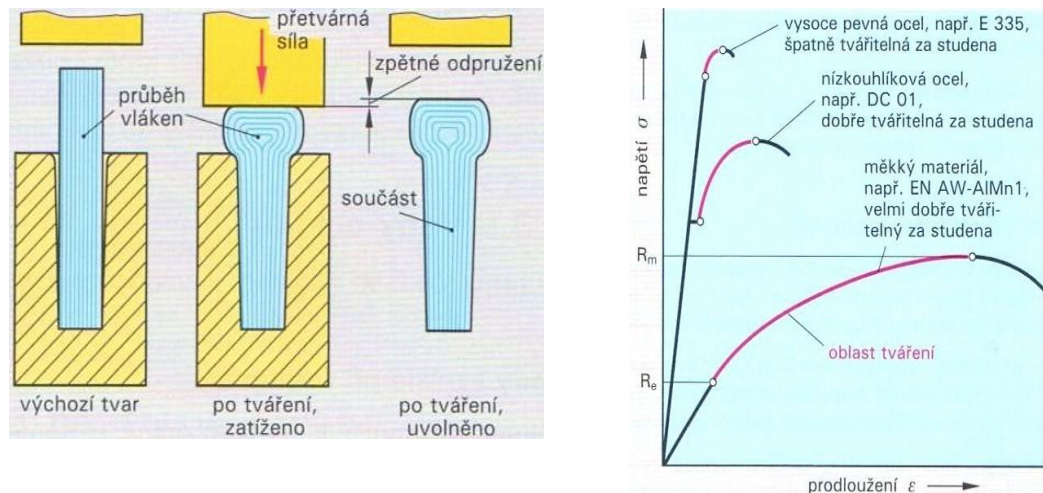
Legend: post procesor - post processor, CNC stroj - NC machine, výrobek -product, technologie - technology, materiál - material, nástroje - tools

Process of production of components using CAD / CAM systems:



4. Cold forming

Forming is a part of engineering technology where we change properties, dimensions and shape by external forces. The shape change occurs by the transfer of the metal particles based on plasticity. It is the most important property of metals and strength and flexibility. The structure of the material remains preserved and improves the strength.



Legend: průběh vláken - course of fibres, výchozí tvar - initial shape, přetvárná síla - forming force, zpětné odpružení - backward suspension, součást - component, po tváření zatíženo - loaded after forming, po tváření uvolněno - released after forming

Legend: napětí - stress, prodloužení - extension, vysoce pevná ocel, např. E335, špatně tvářitelná za studena - high strength steel, e.g. E335, not suitable for cold forming, nízkouhlíková ocel, např. DC 01, dobře tvářitelná za studena - low carbon steel, e.g. DC 01, suitable for cold forming, měkký materiál, např. EN AW-AlMn1, velmi dobře tvářitelný za studena - soft material, e.g. EN AW-AlMn1, suitable for cold forming, oblast tváření - forming area

We can divide the processes by:

- Temperature
- Cold forming (the process takes place at a temperature lower than $T \leq 0,3T_1$)
 - T - block temperature in K
 - T_1 - the melting point of the metal in K
- Hot forming (the process takes place at temperatures at which the recrystallization proceeds in the molding process so quickly that the reinforcement obtained by the deformation is traversed during the molding process (temperatures are higher than $T \leq 0,7 T_1$))
- Thermal effect - the molding temperature is not fully utilized, the block process proceeds with the efficiency $\varepsilon = A_d / E$,
- Adformation work used for the deformation process
- E - energy of the machine at the beginning of molding.

We can divide the processes into:

- Isothermal - the developed heat is drawn to the surroundings, the metal temperature is constant, the metal deformation is reversible or irreversible
- Adiabatic - developed heat remains in the metal, consumed to increase temperature
- The polytropic-extruded heat is partially discharged into the environment, part remains in the metal, recrystallization does not occur because the rate of deformation process is higher than the rate of recrystallization.
- Degree of deformation reached - the highest degree of deformation determines the magnitude of the change in shape and dimensions of the molded product.

Laws of molding

- The law of constancy (volume constant)
- The law of residual and supplementary stresses
- The law of the least resistance
- The law of constant (constant) potential energy of shape change
- The law of similarity
- Law of non-compliances of elastic stresses (deformations)
- The law of consolidation
- Law frightened

4.1. Cold forming

Cold forming is the technological processing of the material. During this processing the temperature is below the recrystallization temperature. The recrystallization temperature T_r is different and depends on the material and is therefore generally referred to as the melting point T_t . For most metals, the relationship applies:

$$T_r = 0,4 T_t \quad [K]$$

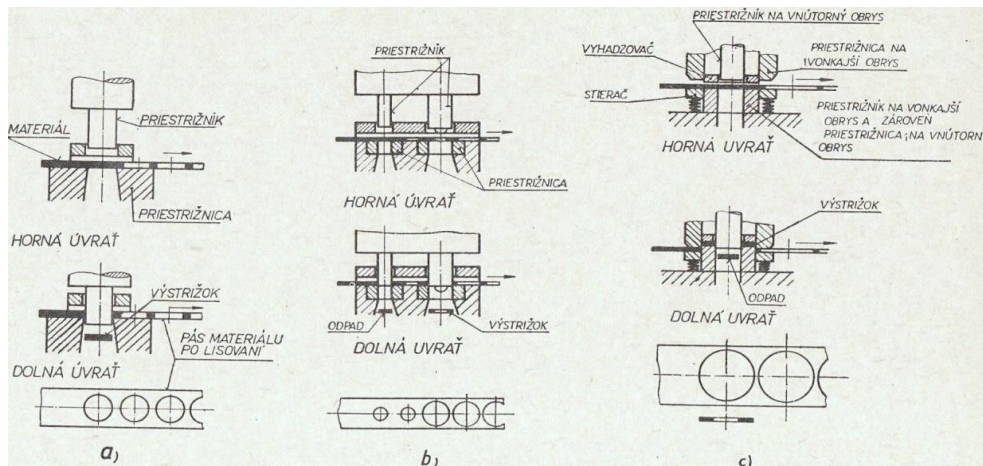
Pressing technique according to ČSN 226201 means the processing of metal and other semi-products and materials by cutting or shaping. We can use both ways to make a piece or semi-product of the required size and shape. In the pressing technology we talk about the following basic parks:

- Cutting material - gradual or simultaneous separation of the material by cutting tools
- Shaping (material displacement) - Mechanical processing by moving its part by pulling and pressing

We divide the crimping tools by one stroke as follows:

- Simple - one working stroke per operation (figure 6 13a),
- Progressive - two or more tasks - carried out one tool in a row (Figure 6 13b),
- Associated - tools that associate or combine simple or progressive tools by performing several operations of various kinds (Figure 6 13c, such as bending and punching)

Pressing tools



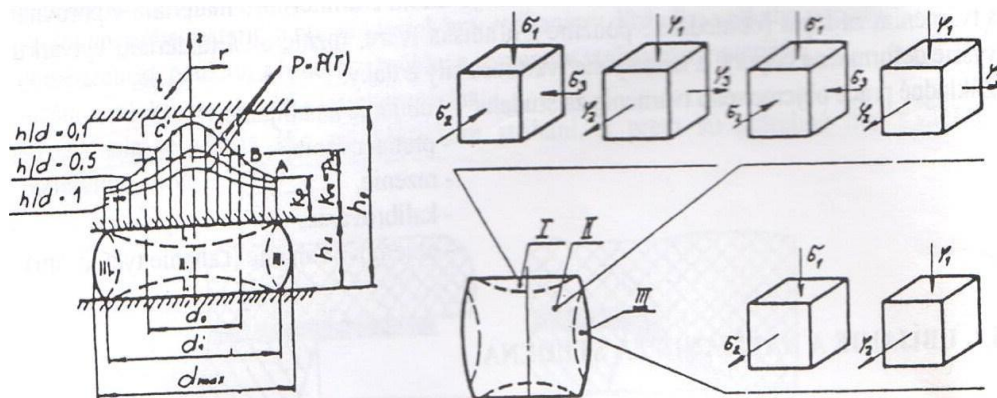
A-simple, b-progressive, c-associated

- Cold forming is the process of forming the blank, which is prepared by cutting or cutting from the rod material.
- The process is carried out under the temperature of recrystallization of the molded material.
- Deformation reinforcement of the material is a concomitant feature of cold volume molding.
- It is the result of increasing the hardness and strength of the material.

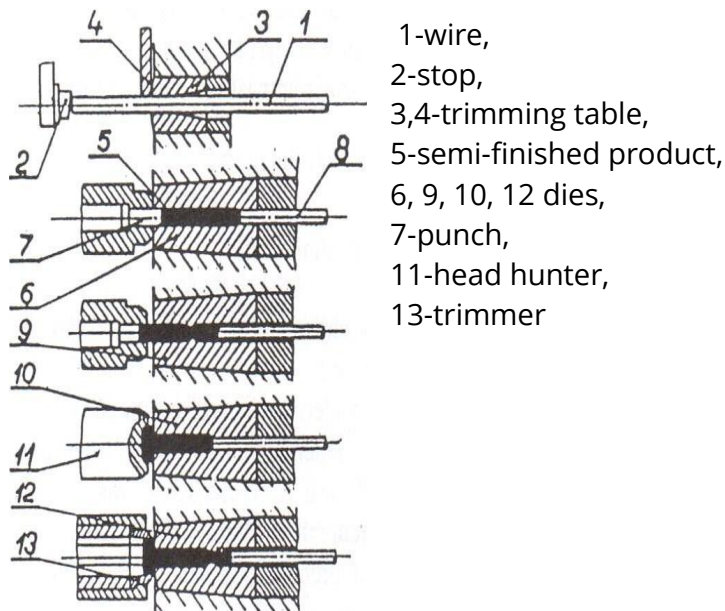
4.2. Catching and charging with cold

- **Collapsing** - The material is compacted by shifting so that the cross section of the workpiece increases to the length or height.
- **Charging** is basically the process of sinking. It creates a process of cross-section enlargement either at the end or at another cross-sectional point.
- **Friction** on the contact surfaces is also the cause of the uneven distribution of molding pressure on these surfaces and the formation of so-called barrel-like shape in free-flowing

Scheme of stress and strain during pressure drop and distribution on contact surfaces



Schematic of the operating cycle of the four operating procedures

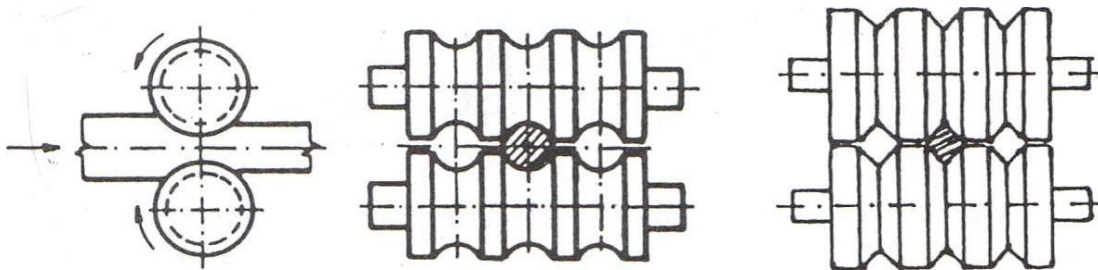


4.3. Rolling

Rolling is understood as a continuous process in which the molded material deforms between rotating work rollers under conditions of predominant versatile pressure. The rolled material deforms between the cylinders. Rolling is done mainly hot but also cold. The result of the process is rolling.

We divide the operation of rolling:

- Longitudinal rolling - the cylindrical axes are parallel, the blank is drawn between the rolls - the rolls are rotated "against each other"
- Longitudinal rolling:
- (Fig.6.19) - the shape of the caliber is determined by the cross section of the rolling mill,
- Intermittent molding takes place in a caliber formed on the part of the circumference of the cylinder,
- The periodic - caliber shape is the repeating shape of the product
- Diagram of longitudinal continuous rolling



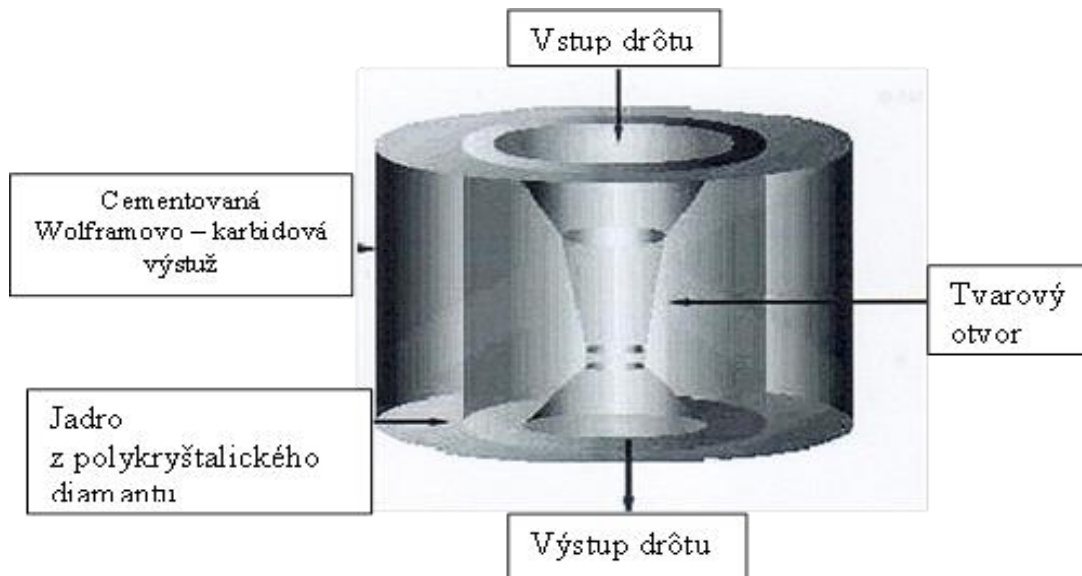
A- rolling a rod of a circular cross-section, b- rolling a rod of a square cross-section

- Transverse rolling - the cylinders and semi-product axes are parallel. The direction of rotation of the rollers is the same. The blank rotates between the cylinders around its axis. The diameter of the rolled semifinished product changes.
- Rolling cylinders - the cylindrical axes are not parallel, they make up the angle of about 5° . The plunger rotates around the axis while advancing forward. The tensile stresses inside the product form a cavity. Divided into:
 - Darting by rolling - The cavity is formed using a mandrel
 - Long duty rolling - the shape of the roll is given by the screw caliber on the circumference of the rollers.
- Roll-out - the scarf ring-shaped blank is rolled up by the pressure roller to the desired shape
- Knitting - is based on the formation of grooves on the surface of the rotary blank
- Thread rolling - threaded cylinders form a thread on the blank. Thread rolling is in serial and mass production.

4.4. Wire and profile pulls

The pull is dragging the blank through the opening of the die, which reduces the cross-section and increases the length. At the same time, mechanical properties change (increasing slip limits and strength limits). Improves surface quality and achieves precise shapes and dimensions.

Draw diagram



Legend: vstup drotu - wire input, výstup drotu - wire output, tvarový otvor - shaping hole, cementovaná wolframovo-karbidová výstuž - cemented tungsten carbide reinforcement, jadro z polykrystalického diamantu - core made of polycrystalline diamond

Pulling of pipes and profiles

Dragging seamless tubes and profiles, the intermittent process is used.

Basic methods of pipe drawing:

- Pulling pulls
- Pulling on a retained mandrel,
- Pulling on free thorn,
- Pulling on a pole,
- Profiles of irregular shapes

4.5. Overpressure

Overpressure is a molding process. In this process, the material is pressed over a narrowed cross-section (extrusion tool). This process generally produces smaller, practically finished, finished products of non-ferrous metals, soft steels, and also of high strength steel and tool steel.

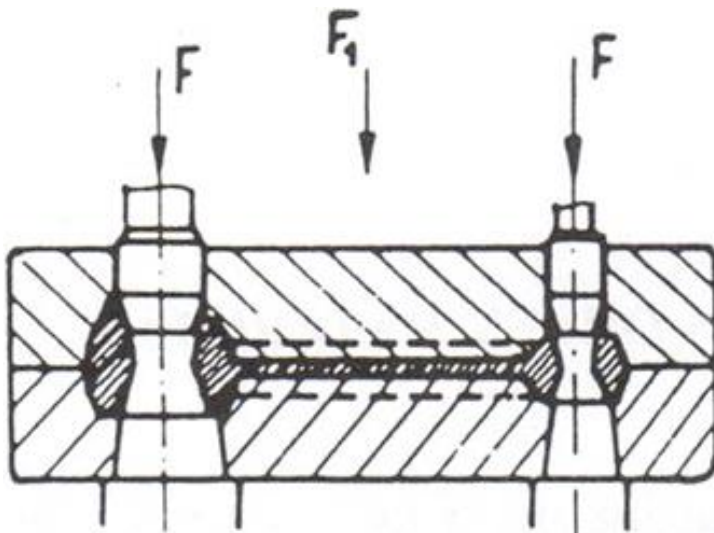
4.6. Routing

In the technological process of cutting, the thickness of the workpiece is changed. The molded material fills the space between the punch and the shape punch. Shape and dimensional accuracy is dependent on the size of the product and the type of material to be consumed. Moves within $\pm 0,05 - 0,1$ mm.

4.7. Calibration

Surface calibration is used to refine the dimensions of the opposing and parallel surfaces of the workpiece when forming eg ballasts, connecting rods, levers, etc. Cold calibration is used to refine the geometric shape and dimensions of all parts of the parts. Along with this technology, calibration of holes with calibration spikes can also be performed.

Calibration of connecting rod with simultaneous calibration of holes



Calibration can be divided into the following operations:

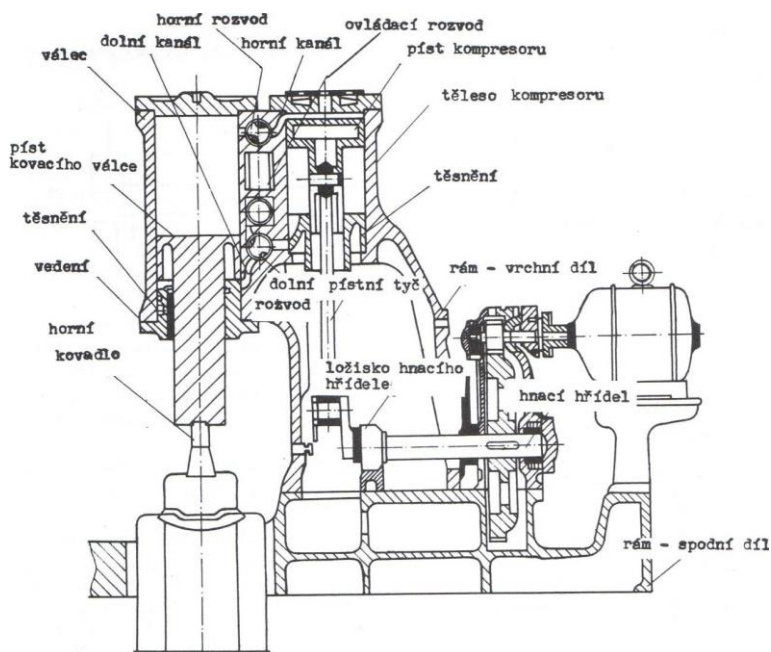
- Calibration by sight (push)
- Planar calibration
- Calibration after pulling - flat, bulk
- Calibration after bending
- Calibration of holes
- Shape calibration

4.8. Free forge

Free forging can be done manually or mechanically. Hand forging is a matter of artistic forging. For free machine fitting, a preform or ingot is used as a semi-finished product.

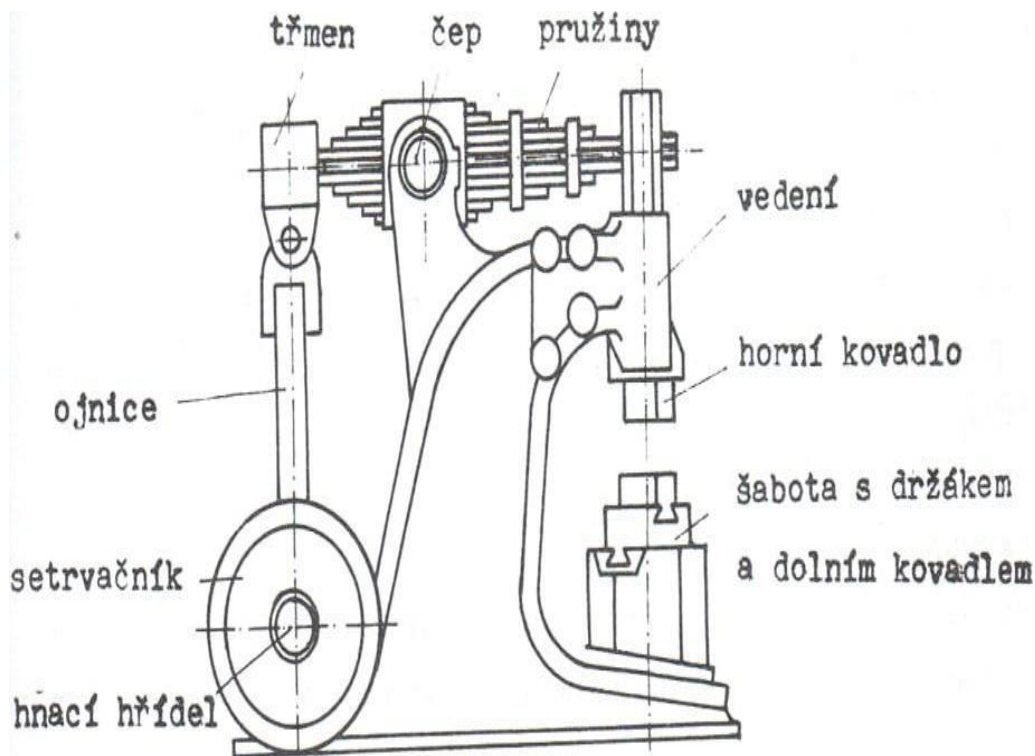
Basic slitting operations include mowing, overburdening, stamping, stamping, offsetting, bending and punching.

Compressor hammer



Legend: válec - cylinder, píst kovacího válce - forging cylinder piston, těsnění - sealing, vedení - guiding part, horní kovadlo - upper swage, rám-spodní díl - bottom frame, hnací hřídel - drive shaft, ložisko hnacího hřídele - drive shaft bearing, rozvod - supply, dolní pístní tyč - lower piston rod, rám-vrchní díl - upper frame, těleso kompresoru - compressor, píst kompresoru compressor piston, ovládací rozvod - guiding, horní kanál - upper channel, horní rozvod - upper supply, dolní kanál - lower channel

Spring forging hammer



Legend: třmen - clevis, čep - pin, pružiny - springs, vedení - guiding, horní kovadlo - upper swage, šabota s držákem a dolním kovadlem - shabbard with bracket and lower swage, hnací hřídel - drive shaft, setrvačnik - flywheel, ojnice - connecting rod

4.9. Die forging

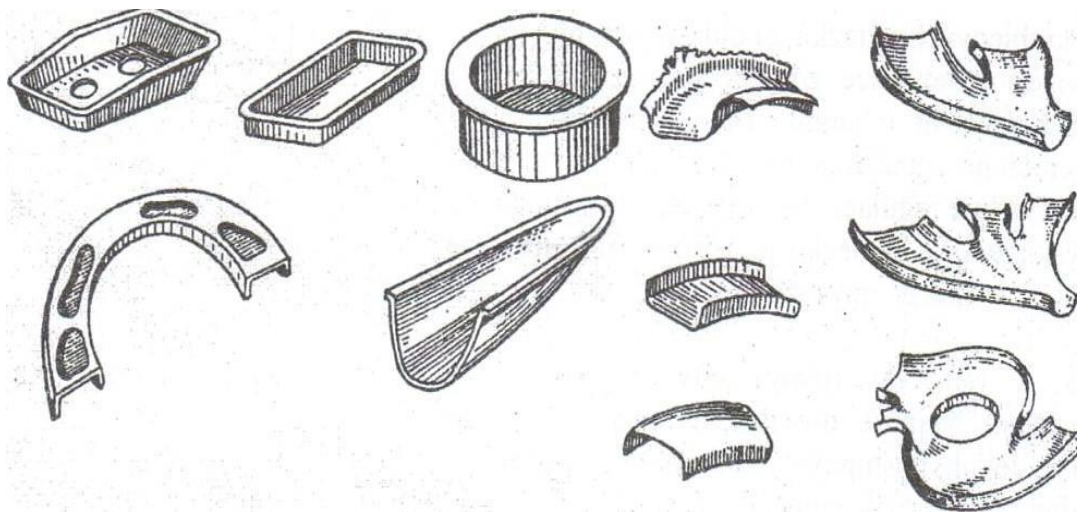
We can divide dies for:

- forging in open dents (in fact, it is forging with a bump),
- forging in closed dies (it is forged without basting).

Depending on the type of forging machine used, we can divide the die forging into (Bača, J., Bílik, J., 2000):

- Hammering,
- Bending on presses
 - forging on vertical forging machines,
 - forging on horizontal forging machines,
- forging on forging rollers.

Shapes and parts made in buckets



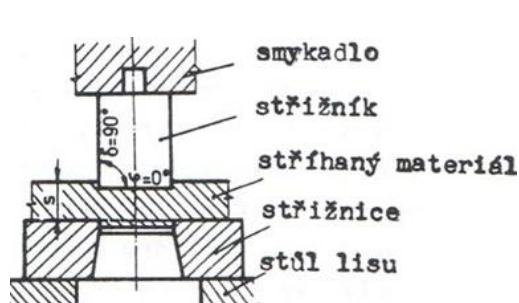
4.10. Surface molding

Surface molding is a process in which a shape change occurs. The sheet metal blank converts to the desired part. We divide the tool into a single-operation, step-by-step and multi-step process for the surface-forming operation of the tool.

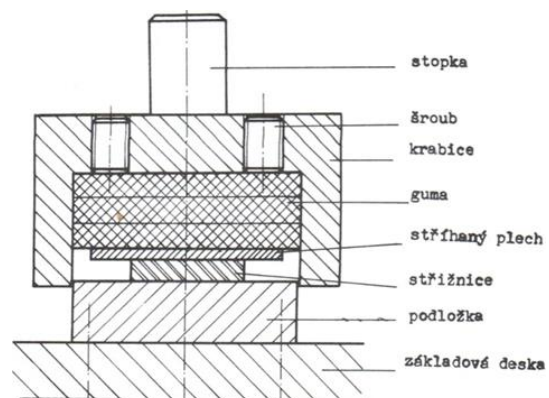
4.11. Cutting

Cutting is the most used molding operation. Cutting is used in forges and mills for:

- Cutting parts,
- dividing the basic plotters.
- finishing operations,
- Auxiliary operations.



Scheme of shearing with shear cutting



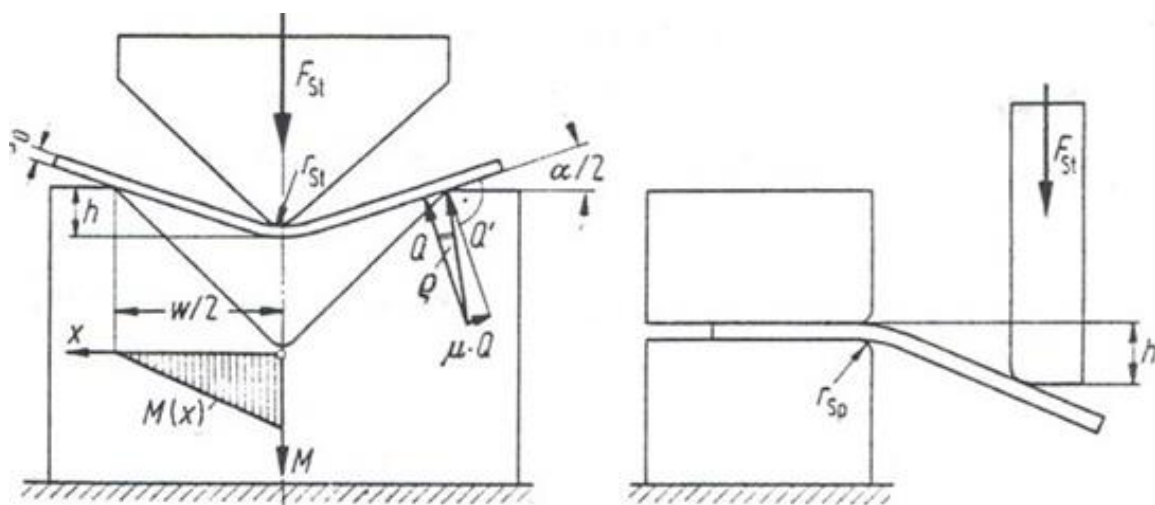
Cutting in a non-rigid tool

Legend: smykadlo - sliding shoe, střížník - punch, stříhaný materiál - sheared material, střížnice - die, stůl lisu - table plate, stopka - nose, šroub - screw, krabice - box, guma - rubber, stříhaný plech - sheared sheet, podložka - mat, základová deska - plate

4.12. Bending

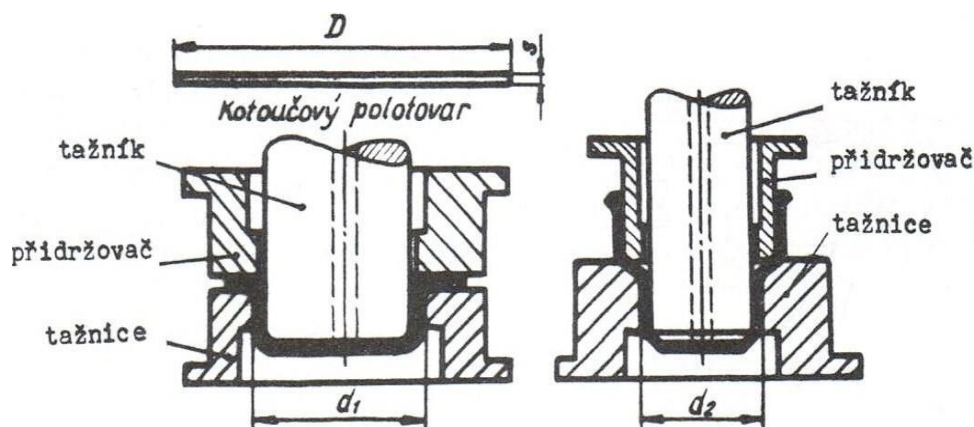
Bending is an elastic-plastic deformation. This distortion is caused by moments of external forces. It's creating sharp or rounded edges. This operation makes it possible to straighten inappropriately formed sheet metal.

Free bending



4.13. Drawing

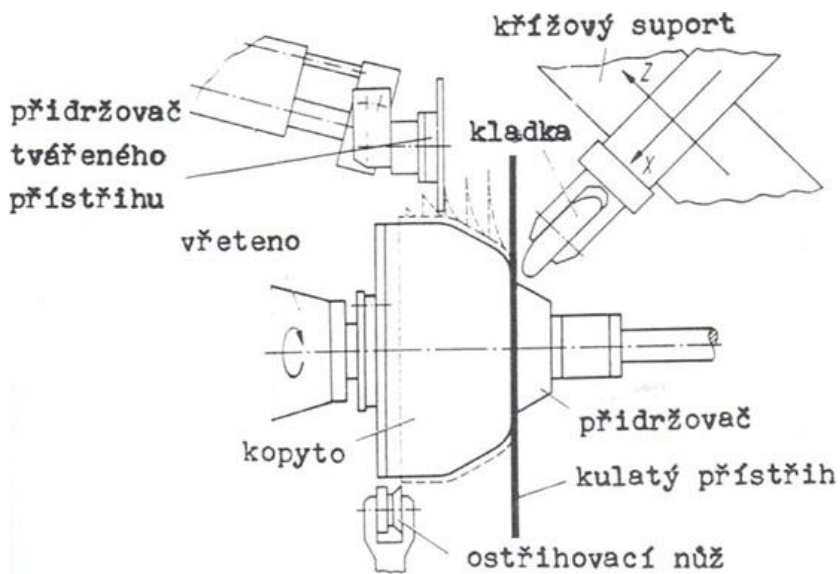
Draws with the retainer in the first and second drawing operations



Legend: tažník - drawing punch, tažnice - drawing die, přidržovač - retainer, kotoučový polotovár - disc blank

4.14. Pressing

Pressure of hollow bodies



Legend: přidržovač tvářeného přístřihu - blank holder, vřeteno - spindle, kladka - pulley, křížový suport - cross slide, kulatý přístřih - round blank, ostřihovací nůž - trimming knife

ENGINEERING TECHNOLOGIES 2

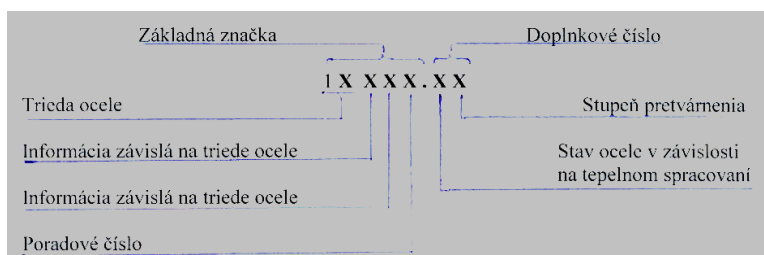
1. Marking of technical materials

Metals are marked by numerical marking according to the standard STN 42 0002, which is, however, only temporary. There has already been used marking according to EN. The numerical mark is written in the component drawing, list of details in machine assemblies designs, it is also used in business.

1.1. Marking of technical iron

Formed steel:

The marking consists of a five-digit mark and a two-digit additional mark, separated by a point. Based on the chemical composition, steel is divided into classes. The marking indicating the class is the **first two digits** of the basic marking, separated by a gap from the other numbers. This is referred to as the **steel class marking**. Steel class marking always starts with **1**. The marking pattern is as follows:



Legend: základná značka – basic mark, doplnkové číslo – additional number, trieda ocele – steel class, informácia závislá na triede ocele – information depending on the steel class, poradové číslo – series number, stupeň pretvárení – degree of forming, stav ocele v závislosti na tepelnom spracovaní – steel condition depending on heat processing

In mechanical engineering chart, the meaning of the individual digits is explained in detail.

Steel classes are as follows:

10	+++	without guaranteed chemical composition	
		Structural steel of usual quality	
11	+++	guaranteed S and P content	

12	+++	carbon steel	(for case-hardening, refining, spring steel)
13	+++	alloy for case-hardening	(Mn, Si, Mn-Si)

14	+++	for refining	(Cr, Mn-Cr, Si-Cr, Cr-Al, Cr-Mn-Si)
		Structural steel	
15	+++	steel for quenching	(Cr-Mo, Cr-V, Mn-Cr-Mo, refined Mn-Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Mo-Al)
16	+++	for nitriding	(Ni, Cr-Ni, Cr-Ni-Mo, Ni-Cr-W)
17	+++	alloyed with high content of additives	corrosion-resistant and refractory steels

			High-temperature steel
18	+++		additional materials, sintered metals

19	+++	tool steel	carbon, alloy, alloy steel for tools, alloy high speed steel

The meaning of the **second two digits** depends on the steel class. The last number represents the important properties (e.g.: 1-suitable for forming, 3-weldable steel).

The first additional digit means the state, the type of heat processing (e.g.: 1-normalized steel, 4-hardened steel, 6,7,8-refined to lower, upper, and middle strength).

The second additional number indicates the degree of forming.

Example: 11 523.11 12 061.4 19 436.4

Steel for casting:

The basic marking is a 6-digit marking. The first two digits are 42, the metallurgical group. This is followed by a gap. The second two digits are: 26 – carbon steel, 27,28,29 – alloy steel, the meaning of the third two digits depend on the kind of steel. The first ad-

ditional number after the point indicates the state, the second one the required properties.

Example: carbon: 42 2650, alloy steel: 42 2712, 42 2815, 42 2931

Cast iron:

Marking of cast iron is a 6-digit number starting with *42*. The second two digits indicate the type of cast iron:

Ductile cast iron - 23,

grey cast - 24. The third two digit indicates the lowest tensile strength in the case of ferritic ductile cast iron (in tenths of MPa),

malleable cast iron: the second two digits - *25*, the third two digits indicate the lowest ductility (in %) in the case ferritic cast iron, and the lowest tensile strength in the case of perlitic cast iron (in tenths of MPa).

Example: 42 2438, 42 2530.

1.2. Marking of non-ferrous metals

Aluminium and its alloys

The marking consists of six digits, where the *first two digits* are *42*, *the third digit is 4*, which is a designation of light metals.

The fourth number: even number denotes formed alloys, *odd number* indicates alloys for casting.

The two digits consisting of the fourth and fifth number designates light metals (e.g. pure aluminium, Al Cu Mg, Al Mg alloys, etc.).

The sixth number is the serial number of metal or alloy.

The additional two-digit number indicates the state and quality of the formed material.

In the case of cast materials, the first additional digit indicates the state after the casting heat processing, the second additional digit indicates the casting method.

Example: 42 4004, 42 4415.

Copper and its alloys

The marking consists of six digits, where the *first two digits* are *42*, *the third digit is 3*,

which is a designation of heavy metals.

The fourth number: even number denotes formed alloys, odd number denotes alloys for casting.

The two-digit number consisting of the fourth and fifth number indicates heavy metals.

The sixth number is the serial number of metal or alloy.

Additional two-digit number indicates the state and quality of the formed material.

In the case of cast materials, the first additional number indicates the state after heat processing of casting, the second additional number indicates the method of casting.

Example: 42 3016, 42 3256.

The marking is similar in the case of soft solders for which the melting temperature is the most important information. For example, the solder material for with a melting temperature of 183 °C is marked as 42 3635, for silver solder with a melting temperature between 650 and 810 °C has a marking 42 3809. For more details, see the chapter *Solders*.

1.3. Marking of non-metallic material

Marking of rubber

For rubber, a 6-digit number is used, where the **first two digits** are **62**.

Example: 62 2026 – for hoses, washers, general use,
62 2314 – resistant to chemicals.

Marking of plastics

Plastics are marked with a 6-digit number, where the **first two digits** are **64**.

Example: 64 3211 – machinable hard polyvinyl chloride plates,
64 7003 – plastic leather on fabric or any other textile.

1.4. Brief overview of technical materials marking

Steel: a five-digit number, always starting with 1, the second two digits indicate the class (from 10 to 19). This is followed by a point and an additional number (the state of steel).

Example: 11500.4 19 436.6

Cast steel: a six-digit number. Starting always with 42, the second two digits 26 – (most often), or 27, 28, 29. The additional number as in the case of steel.

Example: carbon steel - 42 2650, alloy steel - 42 2712, 42 2815, 42 2931.

Cast iron:

Grey cast – a six-digit number, starting always with 42, followed by 24, or 23.

Tempered – a six-digit number always starting with 42 followed by 25.

Example: grey - 42 2438, tempered - 42 2530.

Aluminium and its alloys: a six-digit number starting with 42 followed by 4.

Example: 42 4004, 42 4415.

Copper and its alloys: a 6-digit number starting with 42 followed by 3.

Example: 42 3016, 42 3256.

Rubber: a 6-digit number starting with 62.

Example: 62 2026, 62 2314

Plastics: a 6-digit number starting with 64.

Example: 64 3211, 64 7003

2. Physical properties and mechanism of plastic deformation

2.1. Physical properties

Density – the ratio of mass m to volume V of a homogeneous material at certain temperature:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

The melting and solidification temperature T [$^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{K}$] – the temperature at which the material changes its state. It is important for foundry, plating, welding, etc. Pure crystal materials (1 element only) have constant melting and solidification temperatures. Alloys, glass, ceramics have a certain range (interval) of melting and solidification.

Linear and volumetric thermal expansion – change of length and volume due to temperature. It is an important variable for foundry, welded joints, etc.

Thermal conductivity λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] – it is the amount of heat that at steady state passes over a unit of time between two opposite walls of a cube of a 1-m edge, if the difference between the walls temperature is 1°K . The best heat conductor is silver (Ag). Other materials conductivity is given in % to silver (Cu – 94%, Al – 55%, Fe – 21%).

Electrical conductivity G [S] – the ability of the material to conduct electricity. A conductor with a resistance of $1\ \Omega$ has conductivity $1\ \text{S}$ (siemens). Based on conductivity, we distinguish between conductors, non-conductors (insulators), and semi-conductors (selenium, germanium, silicon, et al.) The best conductors of electricity are silver, copper, and aluminium. Copper is used for comparing the materials conductivity with other metals.

Superconductivity is a property of some metals whose electrical resistance decreases to an undetectable value (almost without resistance) at very low temperatures (close to 0°K). This is mostly in the case of direct current and semi-conductors.

Specific electrical resistance – is the resistance of a conductor of a 1-mm^2 cross-section and 1-m length. The best insulator is vacuum.

Magnetic properties – characterize the behaviour of metals in a magnetic field. Depending on permeability μ the materials can be divided into:

Diamagnetic materials – $\mu < 1$. They do not enhance the effect of the external magnetic field. These materials include H, Au, Ag, Sn, Pb, etc. and most of organic alloys;

Paramagnetic materials – $\mu > 1$, but closer to 1 . These include oxygen, rare earth elements, alkali metals, aluminium, platinum, etc. They slightly enhance the effect of the external magnetic field;

Ferromagnetic materials – high μ depending on the intensity of magnetic field. These include Fe, Ni, Co, Cr alloys and Mn. Ferromagnetic materials are:

Magnetically hard – hard to magnetize x retain the magnetism even after the magnetic field is removed (permanent magnets),

Magnetically soft – easy to magnetize + easily lose magnetism. They

are used for creating magnetic circuits in electrical machines and devices.

2.2. Chemical properties

The surface of metal components is often damaged due to the environment acting. This is called corrosion, which annually damages up to 3 % of metal. Corrosion resistance is determined in particular environment – in the nature or in laboratories.

The corrosion effect is identified by the loss of metal per 1 hour. It is given in g on a cm^2 [$g\ cm^{-2}\ h^{-1}$].

Fire resistance is determined at higher temperatures (over 600 °C). It increases with adding Al, Cr, Si.

2.3. Mechanical properties

Components are subjected to tensile strain, compression, twisting, shearing, and bending. To resist it, the material must have properties such as strength, hardness, flexibility, ductility, etc. These materials are tested in order to find whether they have the desired properties.

2.4. Technological properties

Material is processed in various ways that require corresponding properties. They are called technological properties, since based on them, the processing technology is chosen, or vice versa – the material adapts to the processing technology. For example, duralumin (AlCuMg) – is used for manufacturing solid but light parts. For forming, the material must not be rigid; therefore, it is processed so that it is soft and ductile. Subsequently it is processed and then it is cured. Technological properties include ductility, machinability, weldability, castability.

2.4.1. Alloys

As technically used metals, alloys are considered, since so-called pure metals contain other elements that appeared in them from the initial materials during the production process or were intentionally added into them. *Alloys are thus multi-component materials, in which metals are predominant elements.*

Component is an individual pure chemical substance forming a part of an alloy.

Components of alloys interact with each other. Depending on the interaction, we distinguish between the following types of alloys:

homogeneous:

- **Solid solution:** is marked as $\alpha = A(B)$, which means that the metal B dissolves in metal A . The solution is either limited or unlimited. Solid solution formation can be as follows:
 - By substitution of basic metal by atom of additive. It is substituted in the lattice. This type of solution is a **substitute** solution. If the substitution is regular, it is an **arranged solid solution**,
 - Atom of additive is added between the atoms of base metal (in the spaces in the lattice). This is an **interstitial solution**;
- **chemical compound:** when the number of atom of the elements penetrating into the alloy can be expressed in whole numbers and cannot change. This is described by a chemical formula.
- **intermetallic – intermediate phase:** base metal with additive create a new spatial lattice in which the atoms of both substances substitute each other. It forms a new material which is neither chemical compound nor solid solution.

heterogeneous:

if the second material has a different crystal form, both co-exist finely spaced but each one has a separate form. It's a heterogeneous mixture (similarly as e.g. grains and poppy seeds).

Types of alloys structure are shown in Figures 6.10 and 6.11.

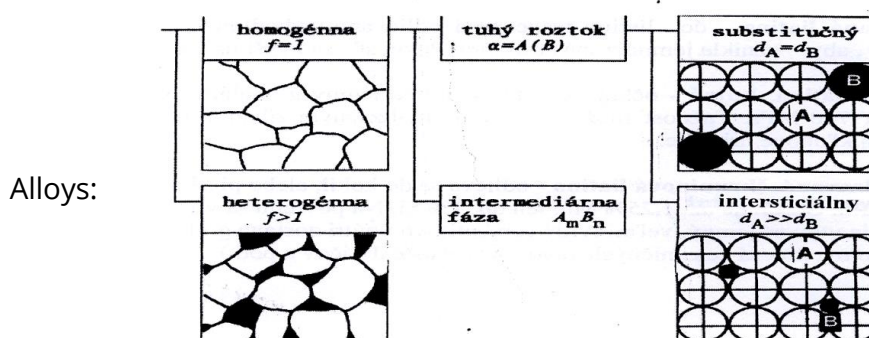
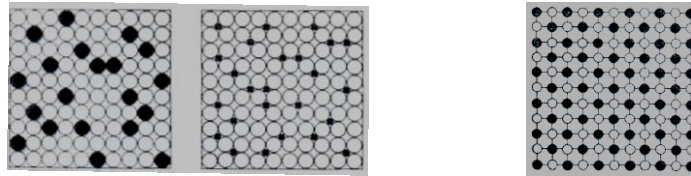


Figure 6.10 Kinds of alloy inner structure (f -number of phases, d_A , d_B – components' atom diameters)



a

b

c

Figure 6.11 Solid solutions: *a* – substitutional, *b* – interstitial, *c* – arranged solid solution
Crystallization of alloys

We distinguish between three states of materials – solid, liquid, and gaseous. Here we will deal only with solid and liquid state. In order to gain a liquid state (melt), the metal must be heated: atoms oscillate, the volume increases, specific weight is lower. When the temperature is so high that the atomic oscillation is large, the metal loses its cohesion, it melts.

Here, the *Dulong – Petit rule* is applied: multiple of specific heat and atomic weight is approximately equal to 6.2 cal/g °C. This means that the materials with high atomic weight (Au, Pt, Pb) have a low specific heat.

As it has already been stated, heat often changes the crystal lattice even in its solid state – the atoms are rearranged. It is called over-crystallization: a new *modification* is created; e.g. in the case of iron, tin (tin pest) and others. This phenomenon is called **allotropy**.

Melt cooling causes its *solidification*. Solidification is the process of transformation of liquid state into solid state. If the material solidifies as crystal, this is called *crystallization*.

Primary crystallization process – it is a transition from the melted state into solid state. The laws of thermodynamics are applied there. The transitions occur on the basis of change of energetically less efficient phase into a more efficient phase. When the solid phase is energetically efficient, the solidification process starts.

In order to fully understand the above-mentioned process of transition, it will be described more in detail in the following chapter. First, a few new terms shall be mentioned:

Pure metals, eutectic alloys, chemical compounds crystallize, that is, solidify *at constant temperature*; they also melt at the same temperature. Other alloys solidify in an interval of temperature.

For crystallization, the following factors are important:

- *spontaneous crystallization capability* (gives a number of crystallization nuclei),

- **linear crystallization speed** (expresses the speed of crystals growth).

Besides these factors, **supercooling (undercooling)** – lower atomic mobility which are more likely to collide, and thus the germ is formed, which grows subsequently.

The size of the factors mentioned above and their mutual relation affect the roughness of the structure. It is also influenced by casting moulds, chills, inoculation, metal purity.

If the nuclei originate directly from the base metal, it is called **homogeneous nucleation**. We say that crystallization is spontaneous.

If the nuclei are formed and grow on other material (carbides, oxides, nitrides, graphite, solid metal additives, inoculants, impurities, etc.), it is called **heterogeneous nucleation**.

Nuclei only occur at certain temperature, if the temperature is higher, the nuclei melt.

Unlike pure metals, crystallization of alloys involves several processes:

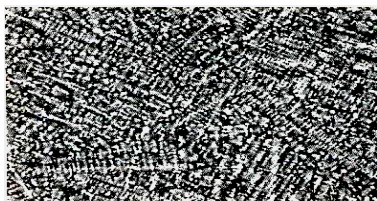
- from homogeneous melt, several phases may crystallize,
- crystallization takes place in a certain temperature range,
- crystallization phase has a different composition than the original homogeneous phase.

Structural changes occur during crystallization, and new phases appear.

Phase – it is a homogeneous part of a system which is separated from other parts by a surface interface and has the same properties, structure, and chemical composition (e.g. the mixture of grains and poppy seeds is a system as a whole, poppy seeds are one phase, grains represent another phase). Phase can be a homogeneous matter or dispersion.

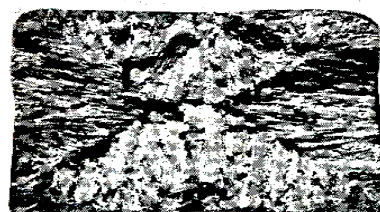
Dispersion – it is a system containing at least two kinds of matter, when one matter is dispersed in the other. It is a heterogeneous system of two or more phases.

During crystallization, **trans-crystallization takes place** – formation of **dendrites** – tree-like crystals, crystallization axes (Figure 6.12a), lunkers, microlunkers (between crystals, act like a notch Figure 6.12b).



a

Figure 6.12
in cast
crystallites
Ni – b



b

Dendrites
steel – a,
in alloy Fe-

3. Basic quantities of plastic deformation

3.1. Limit states of materials

In most branches of mechanical engineering, the technical parameters of machines and devices have increased in the last decades (e.g. work pressure, temperature, revolutions, performance, etc.), while their weight per unit of power has decreased.

Limit state – definition

- Limit state is a state of material when the material loses its functional and utility properties due to the acting of the external or internal factors or by combined acting of external or internal factors, when there is a change of functional and utility properties of certain level.
- Step change in material state.

The second definition describes the limit state as a loss of utility properties and includes also the phenomena that do not have to affect the functional properties of the given structure, such as the transition from ferromagnetic to paramagnetic state (Curie temperature), polymorphic transformations, etc.

- Limit state is a state of system expressed by conditions (parameters) of the system activity, which cause temporary or permanent failure of the system function when exceeded. System limit state is between the normal and failure state.
- The third definition defines limit state as a place of a step interface between two states – applicable and non-applicable.

Reaching limit state depends on the *dynamics of damage accumulation*, which is a function of a sub-structural and structural state of material, technological characteristics of production, and construction conditions of using a body, depending on the size and type of load, reaction of the material to the load and mainly to the time of acting of the factors that can (separately or together) cause the limit state.

- *Degree of material damage* is characterized by the level of internal energy, mainly at the points of its concentration, or by the share of the areas with affected material cohesion due to acting of external or internal limit state factors.

- *Plastic deformation* is the ability of material to change its shape and dimensions due to acting of sufficient load without changing its crystal structure.
- *Local damage of material* is an irreversible loss of cohesion limited in volume and area, which results in a separation of a certain amount of material, formation of a crack or cracks, or a layer with different utility properties than the other part of the material.
- *Cracking* is an irreversible loss of material particles cohesion in a part or in the whole cross-section.

Factors influencing limit state

- Structure and substructure – morphology of the individual phases, precipitates, segregates
- Technology of production – residual stress after forming, welds, defects
- Operation conditions (environment) – operational atmosphere, lubrication, revolutions, period of operation
- Size and type of stress – size, direction, static stress, impact stress
- Chemical composition
- Speed of stress – plastic instability phenomenon
- Corrosion
- Time – stress history
- Temperature
- Multi-factor superposition

3.2. Classification of limit states

Ultimate limit state:

Deformation – exceeding the stress limit

- Elastic limit,
 - Excessive elastic deformation (micro plastic deformation, macro plastic),
 - Damaged elastic stability,
 - Decrease of elastic deformation (relaxation),
- Plastic deformation limit
 - Excessive plastic deformation (critical)
 - Damaged plastic stability

Limit state of damage (cracking).

- Overload:
 - fragile,
 - malleable,
- Wear,
 - mechanical $\varepsilon=f(\sigma)$,
 - thermal $\varepsilon=f(T)$,

- creep,
- impact,
- heat shock deformation,
- corrosion,
- stalled,
- early
- thermal-mechanical $\varepsilon=f(T, \sigma)$,
- creep $\varepsilon=f(T, \sigma, t)$.

Local damage:

- Of volume by:
 - hydrogen,
 - Intercrystalline corrosion,
 - Liquid metal,
 - welding,
 - radiation,
 - swelling,
 - energy fields
- Of surface by:
 - adhesion,
 - abrasion,
 - erosion,
 - cavitation,
 - contact,
 - vibration,
 - corrosion,
 - heat,
 - extraction,
 - energy rays.

Serviceability limit states:

- Excessive deflection.
- Size of dynamic response.
- Loss of stability of position.
- Vibration, noise

Stress corrosion cracking

It is one of the forms of corrosion caused by the simultaneous acting of corrosion and stress (Table 7.1). Corrosion acting is more intensive in such a case than it would be under the condition of separate acting of both factors. Corrosion cracking occurs when the following three conditions are fulfilled:

- corrosive environment,
- cracking-prone material,
- presence of certain tensile stress component.

Cracking susceptibility is influenced by metallurgical (chemical composition of metal, internal stress, level of deformation, presence of inhomogeneity) and electrochemical factors (electrochemical potential, metals ability of passivation, character of corrosive environment).

Corrosion cracking (see Figures 7.3 and 7.4) can be intercrystalline or transcrystalline. In corrosion cracking, the cracks are often initiated by existing surface defects as grooves

or chases after machining, or sharp edges.

Table 7.1 Combination of metals and environment in which corrosion cracking occurs

Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Zn	seawater
Cu-Al, Cu-Zn-Ni, Cu-Sn	ammonia
Carbon steel	Hot solutions of nitrates, carbonates, and hydroxides
austenitic stainless steel	Concentrated hot chloride solutions, chlorine contaminated vapours
Titanium and its alloys	10% HCl
Nickel and its alloys	Solutions of NaOH and KOH at 130°C



Figure 7.3 Corrosion cracking scheme

Legend: korózne trhliny – corrosion cracking, korodujúci materiál – corroding material



Figure 7.4 Microphotograph of corrosion cracking

Due to changing of chemical and mechanical degradation, there is a jump growth of cracking. Chemical reaction at the front of the crack accelerates its spreading and the accumulation of stress at the front of the crack increases the reactivity of this place. This results in the synergy of both active processes.

Prevention

- Study of material and its reactions to different structure elements and technological processes – the influence of welds, notches, oscillation, stress, energetic processing etc.
- Choosing the right material – right combination of material properties for the given stress and environment.
- Improving design solutions and stress determination processes at individual places on the structure.
- Follow the technological production processes.
- Correct installation.
- Correct operation – lubrication, temperature, not overloading.
- Maintenance and regular inspection of equipment, constructions, or system – crack control (airplanes, bridges)
- Products tested by producers
- Non-destructive testing – inspection of manufactured components before they are used in the operation and during operation, e.g. inspection of pipes, blades of aircraft engine, cavities in welds, etc.
- Learning from past mistakes – finding the causes of industrial accidents and taking steps to avoid similar problems in the future.

4. Influence of temperature on plastic properties of material

4.1. Technological properties of materials

- **formability** – ability of material to change its shape by acting external forces without damaging the integrity

- **weldability** – it is the material ability to create a welded joint of desired quality
- **castability** – set of properties characterizing material suitable for casting
- **machinability** – set of properties referring to the ease and results of machining the giving material

4.2. Stress

Definition: the ratio of force and cross-section

Stress is created at the cross-section due to acting of external force on the body (Figure 8.1)

$$\delta = \frac{F}{S_0} = \left[\frac{N}{mm^2} \right] [Mpa] \quad (8.1)$$

$$F_N = F \cdot \cos \alpha \quad F_S = F \cdot \sin \alpha$$

$$\delta = \frac{F_N}{S_1} \quad \tau = \frac{F_S}{S_1}$$

Where: F_N – normal component

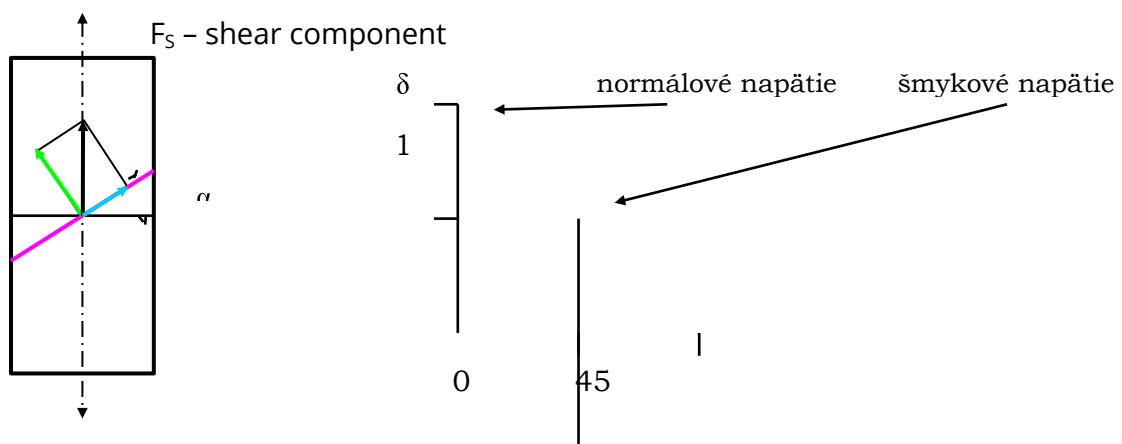


Figure 8.1 Creation and course of stress

Legend: normálové napätie - normal stress, šmykové napätie - shear stress

4.3. Acting of external forces – definition of strength

Strength – the ability of material to bear the load. Ultimate strength is the stress under which the material is damaged – separated into two parts.

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \text{ [Mpa]} \tag{8.2}$$

4.4. Elastic and plastic (permanent) deformation of metals

Deformation – change of shape and dimensions due to external force acting force (Figure 8.2)

Elastic deformation

The material returns to its original shape after the external load stops acting

- It occurs when the atoms, due to the acting of external force in crystal lattice, deviate from their equilibrium points by a distance lower than a half of the lattice parameter. After the removal of the load, the atoms return to their original position.

Plastic (permanent) deformation

When the external load stops acting, there is still certain deformation depending on the size of the loading force

- It occurs if the atoms deflected from their equilibrium position by a distance higher than the lattice parameter, due to which they are not able to return back to their original position after the load is removed.

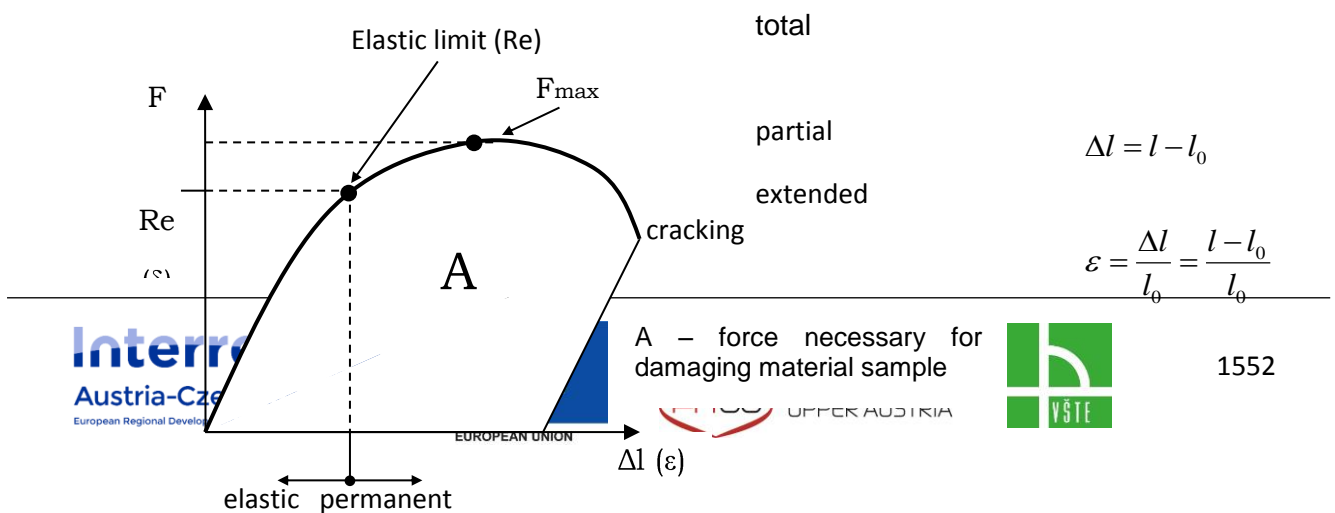


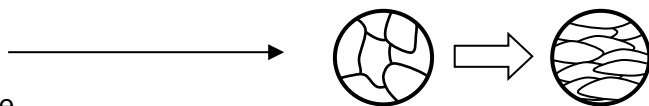
Figure 8.2 Elastic and plastic deformation

Mechanism of plastic deformation:

- By slipping (slipping plane, slip direction)
- By twinning

Effects of plastic deformations

- reinforcement of material
- Formation of deformation texture
- Anisotropy of mechanical properties
- Increase in the number of defects



Removing effects of plastic deformations

- **By heating the material:** based on the material temperature, we speak about lattice recovery. Result: Partial recovery of properties, reduction of tension.
Heating to the temperature $T < T_{\text{recr.}}$ $T_{\text{rekr}} = 0,35 - 0,4 T_{\text{tav}}$ (8.3)
- **By recrystallization**
Heating to the temperature $T > T_{\text{recr.}}$

These effects are removed by recrystallization anneal. Recrystallization deformation of grains to non-deformed completely removes the effects of plastic deformation.

Hot forming is in solid solution γ (austenite), since it has a lattice K12 characterized by a good formability. If the initial temperature of forming is high, it reduces the austenite strength upon intensive recrystallization of deformed austenitic grains. In order to achieve a certain deformation, a smaller amount of energy than in the case of lower temperatures is required. However, the temperature of forming is limited to 100 – 200°C below the solidus temperature in order to avoid grain thickening or “burning” of the steel. Forming must be completed to the temperature of Ar_3 in the case of sub-eutectoid steels and Ar_1 in the case of super-eutectoid steels. At the temperatures of Ar_3 , or Ar_1 the deformation process predominates over recrystallization process; after cooling, the forming temperatures create a fine-grained structure. In the case of super-eutectoid steels, forming (at the temperatures between Ar_{cm} and Ar_1) causes grinding of secondary

cementite lattice, thus increasing the deformation properties (ductility, contraction) of this alloy. For forming temperatures, see Figure 8.3.

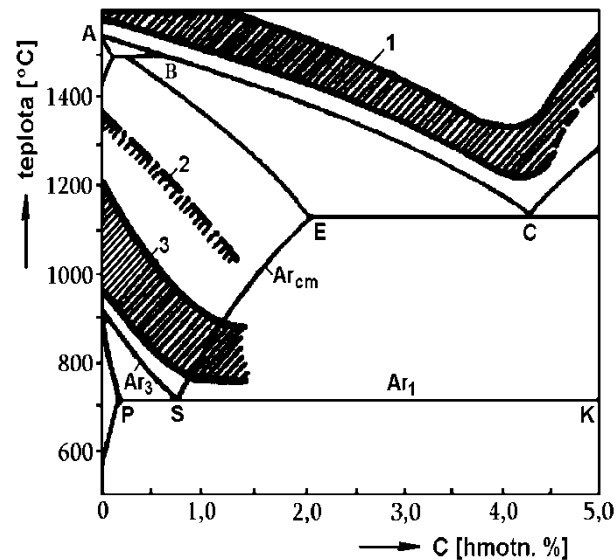


Figure 8.3 Characteristic temperatures in diagram Fe – C

1 – casting temperatures, 2 – upper limit of forging temperatures, 3 – forming temperatures

Heat processing. The Fe-C diagram is most important for the processes of heat processing, which enable to change material properties in a wider range. According to the critical temperatures of A_1 , A_3 , A_m , annealing, quenching, and temperatures of phase changes are determined. The diagram also enables to determine the resulting structures after heat processing.

The above-mentioned examples, as well as other applications such as choosing temperatures for individual types of chemical and heat treatment, thermal-mechanic treatment etc., show, that the Fe-C equilibrium diagrams provide very valuable information for achieving optimal properties of Fe-C alloys.

5. Classification of technological forming processes

Forming is a technological process during which the shape of the starting material is changed by a forming tool without chip removal. Forming is a progressively production technologies. The progressivity of forming consists mainly in reduced consumption of starting material for manufacturing the components or structure, in improving mechanical properties of the starting material in a short period of time, in high productivity, in the possibility of producing parts for the finished product and in full automation of the additional operations and actions.

Blank is a product manufactured by forming regardless the type of forming operation used.

Depending on the type, shape of the initial material and change of cross-section (thickness), forming is divided into **sheet metal forming and bulk forming**.

- Sheet metal forming is a process in which the required change is achieved without a significant change of thickness of the starting material (tin sheet mostly).
- Bulk forming is a process in which the required change of shape is achieved by changing the cross-section (thickness) of the starting material.

Technological forming processes can be classified by:

- Temperature used
- Thermal effect
- Level of deformation achieved

Classification of forming by temperature used:

In terms of forming, plastic properties of pure metals and alloys change due to acting of temperature, i.e. their resistance against the permanent change of shape changes. At high temperatures, the plastic properties of most metals and their alloys are improved.

Plastic deformation that occurs at technological cold forming processes causes change of mechanical, physical, and chemical properties of metal. The phenomena related to these changes are commonly referred to as reinforcement. Depending on whether forming takes place at temperature above or below recrystallization temperature, technological forming processes can be divided into:

- Cold forming
- Hot forming

Cold forming refers to a technological material processing during which the material temperature is below the recrystallization temperature. This means that the reinforcement of the material caused by forming is mostly retained. Cold forming takes place at temperatures lower than $T \leq 0.3 T_{av}$, where the temperatures are given in K.

Cold forming is mostly used for:

- Achieving a shiny and smooth surface of the product, such as in the case of rolling sheets, strips, wire and bars drawing, etc.
- Achieving the exact dimensions of the product (extruding, wire drawing, deep drawing, etc.).
- Increasing the strength and hardness of the formed material
- For non-recrystallizable alloys
- For the materials where hot forming is not possible because the surface of the material is so large that it cools down quickly due to its small cross-section
- For cheap and fast production of components at a satisfactory quality

Cold forming increases the material strength and hardness while reducing its ductility, which is an evidence of the material plasticity. This results in structure deformation and anisotropy of mechanical properties.

Hot forming refers to forming at temperatures at which recrystallization takes place so quickly that the solidification caused by forming process disappears during or immediately after forming. Hot forming takes place at temperatures higher than the recrystallization temperature. Hot forming processes include the processes that occur at the temperatures higher than $0.7 T_{av}$.

During hot forming, two processes take place simultaneously: destruction (deformation) and recrystallization.

Classification of forming by thermal effect

Depending on the amount of heat used for increasing the temperature of the formed metal, forming processes can be divided into:

- **isothermal** – the generated heat is in the environment, the temperature of the blank does not change.
- **adiabatic** – all generated heat remains in the metal formed, its temperature rises.
- **polytropic** – the generated heat is partly in the environment and partly remains in the metal formed. This type of processes is the most frequent one in practice.

Classification of forming by the deformation:

By the ratio between the free surface of the formed material and the material in touch

with the tool, the technological forming processes can be divided into three groups:

- the free surface is larger than the surface which is in touch with the tool (free forging)
- the free surface of the material formed is approximately of the same size as the material in touch with the tool (forging in open dies)
- the free surface of the formed material is smaller than the surface in touch with the tool (forging in closed die forging, extrusion).

5.1. Shearing – classification and principle

Shearing is one of the most frequently used operations in mechanical engineering production, used for manufacturing semi-finished products for making finished blanks or as an auxiliary operation for manufacturing mechanical engineering products. Shearing is an operation during which a part of the material is gradually or immediately separated by a shearing tool.

The basic shearing operations include:

- punching (making holes)
- trimming (separating unnecessary material)
- blanking (cutting out a part of material)
- parting
- lancing (partial cutting of material)
- shaving (achieving more precise shapes)
- fine blanking (precision blanking)
- plunging

Shearing in shearing tools:

It is the most widely used method of making blanks. Basic operations include punching and blanking.

Shearing die is a cutting tool – tool for making blanks of a specific shape and dimensions (Figure 9.1).

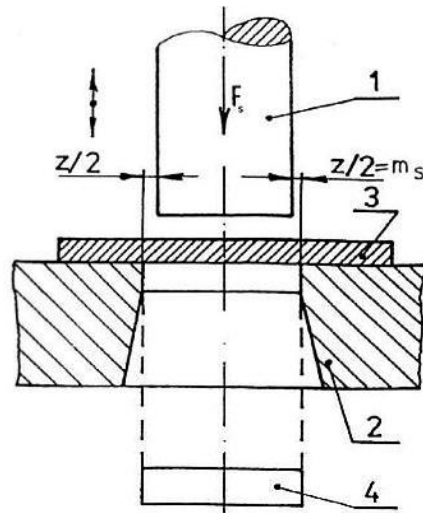


Figure 1 Shearing tool, z - die clearance, m_s - blade gap, 1. Shearing punch, 2. Shearing die, 3. sheared material (sheet strip), 4. Sheared material (blank)

Shearing process can be divided into three basic stages:

- **elastic deformation** – at the beginning of acting of the blanking tool on the material, elastic deformation occurs in the material until the stress at the point of shearing reaches the yield strength R_e . This stage is 5 – 10 % of the material thickness.
- **plastic deformation** – after exceeding the maximum yield strength at the point of shearing the stress is increased until the maximum shear strength. This stage is the 10 – 25 % of the material thickness
- **fracture** – when shear strength is exceeded microscopic and macroscopic cracks are formed in the material, which causes separation of material parts.

Shearing can be hot or cold. Cold shearing is used for soft materials and tin sheets. Hot shearing is used for stronger materials of higher thickness. Shearing can be carried out using: parallel blades, inclined blades, circular blades or in shearing dies.

Shearing tools:

- simple shearing die (Figure 3)

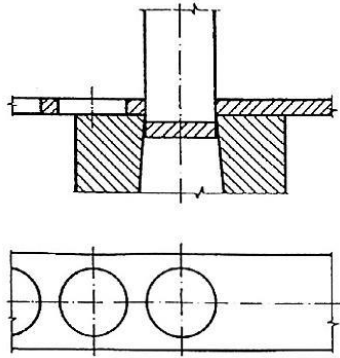


Figure 3 Simple shearing die

- combined shearing die (Figure 4)

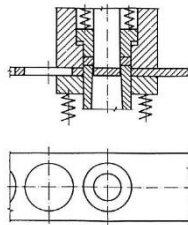


Figure 4 Combined shearing die

- progressive die (Figure 5)

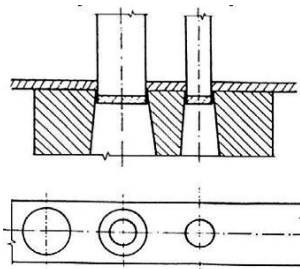


Figure 5 Progressive die

- compound die (Figure 6)

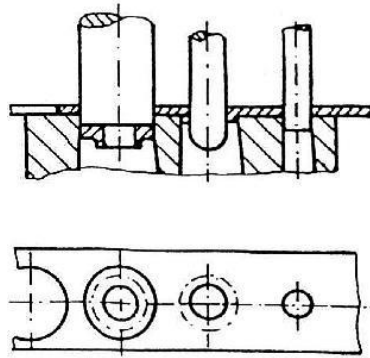


Figure 6 Compound shearing die

5.2. Bending – classification and principle

Bending is a technological process in which the shape of a semi-finished product is permanently changed due to acting of bending moment caused by a pair of forces. Bending is a process by which the desired shape is without a significant change in the material cross-section; therefore, it is included in sheet forming.

The starting material is sheets, bars, profiles.

The movement is accompanied by reinforcement of the material, which changes its **strength properties** and subsequently also the **properties of the bent component**. This results in reduction in the weight of the **machinery units**.

Depending on the movement of the tool to the material, bending can be divided into two basic groups:

- Bending on bending press - material is bent in a bending die, a bender, whose movable part performs linear movements.
- Bending on bending rolls – as a tool, the rolls are used that perform a rotating movement

Bending on bending presses

Bending – the direction of the movable part movement is the same as the direction of the axis of the angle formed by the bent object shoulder, the bending line is usually shorter than the bending shoulder - Figure 7.

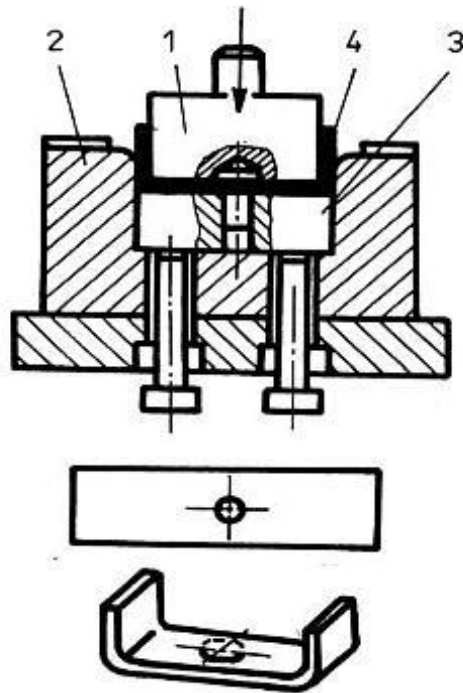


Figure 7 U-shape bending

1. punch, 2. die, 3. ejector, 4. Bent pressing

Brake bending – the process of making various profiles by progressive bending. The bending line is usually longer than the bending shoulders – Figure 8.

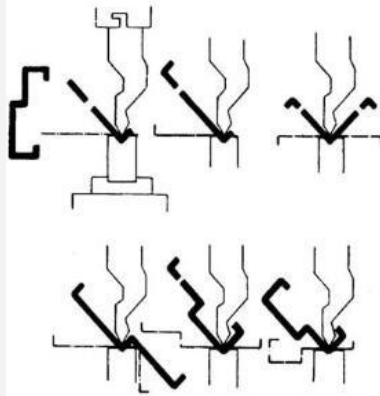


Figure 8 Brake bending

Roll bending – pressure is exerted on the material, causing movement of the sheet on the curved surface of the rigid jaw. The resulting shape can thus be achieved using different tools with a different acting on material – Figure 9.

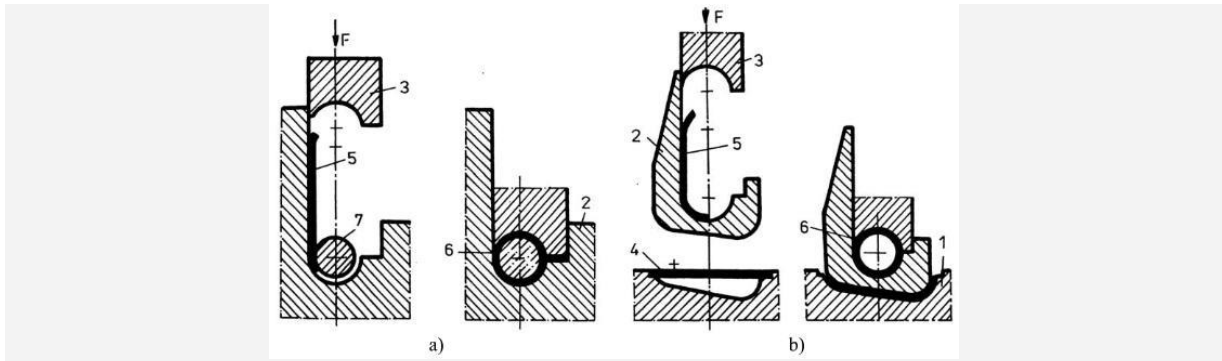


Figure 9 Roll bending
 1,2 - die, 3 - punch, 4,5,6, - bent pressing, 7 - mandrel

Flashing – it is used to reinforce the edges of the pressing or to prepare for a joint

Tacking – acting on pre-formed bent flanges creates a rigid joint.

Bending on rolls

In this type of bending, the point of plastic deformation changes gradually. Based on the position of the bending plane to the rolls axes, we distinguish between the following methods (see Figures 10 and 11):

- **cross-rolling** – bending plane is perpendicular to the roll axis
- **longitudinal rolling** – bending plane passes through the axes of two rolls with a specific profile

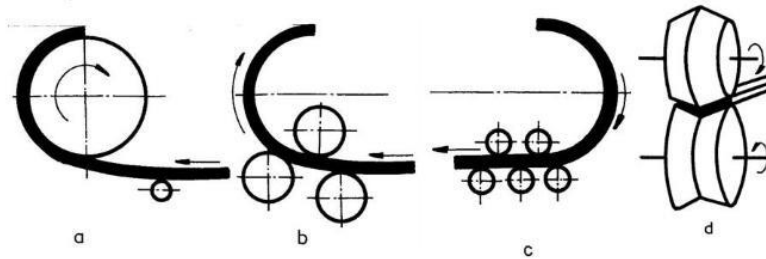


Figure 10 Roll bending
 a - winding, b - roll bending, c -straightening, d - longitudinal rolling

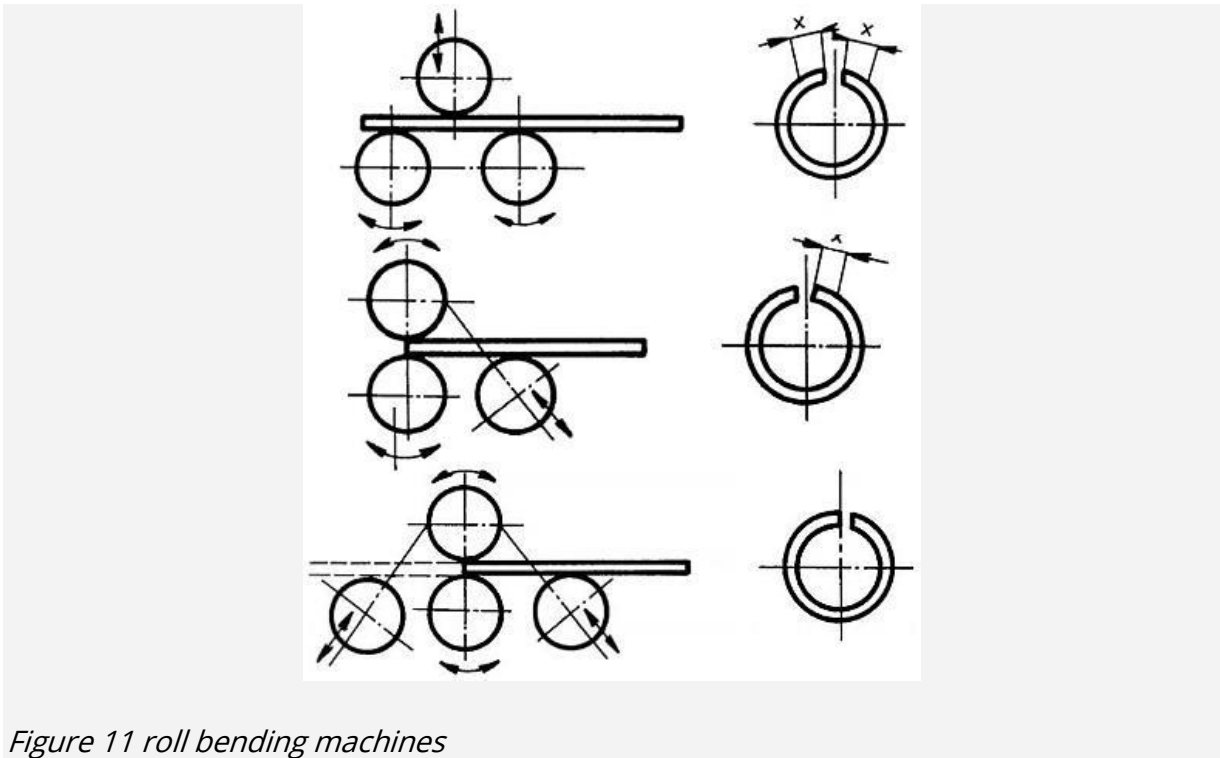


Figure 11 roll bending machines
 three-roll symmetrical, 2. Three-roll asymmetrical, 3. Four-roll symmetrical

5.3. Drawing – classification and principle

Drawing is a technological process in which a spatial (hollow) body of a simple or complex shape is created from a sheet. The product manufactured by drawing is called a drawn product. Drawn product can be made for one or more operations (depending on its size and shape). Deformation of a planar object into a hollow body is realized in drawing machines / drawing tool, consisting of drawing punch, drawing die, blankholder (Figure 12).

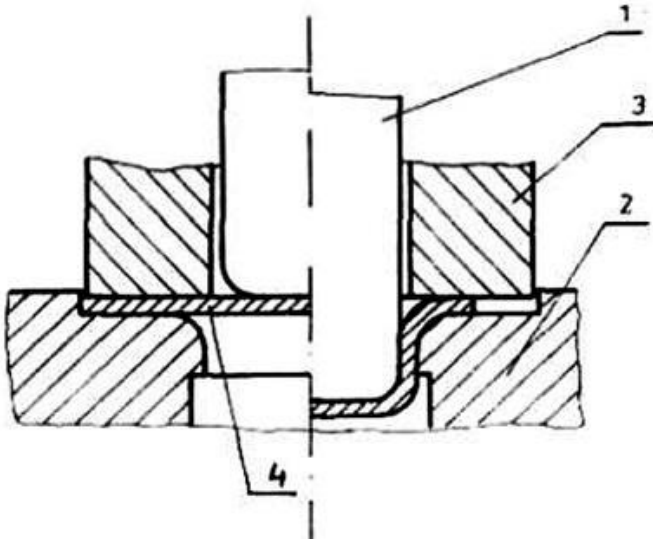


Figure 12 Drawing machine

1. drawing punch, 2. Drawing die, 3. blankholder, 4. Drawn sheet

Drawing is a frequently used technological process for manufacturing components of a complex shape, rigid, with a minimal weight. It is a very productive process.

Drawing is used for manufacturing components used in all spheres of human life, e.g. **metal kitchen containers, packaging for refrigerators, washing machines, ovens**. In automotive, it is used for manufacturing all passengers and truck body parts. Drawing as a technological operation is used for manufacturing parts of aircrafts, ships, toys, food industry, electrical engineering, etc.

Drawing machines have a specific design. Drawn sheet has to be held; therefore, the machine must have two guide blocks – drawing and holding.

Classification of drawing

- ordinary drawing
- thin-wall drawing
- reverse drawing
- beading (increasing the rigidity of the object by drawing shallow depressions)
- stretching (forming hubs or cylindrical walls for threads)
- expanding (increasing the perimeter)
- necking (reducing the perimeter)
- stretching using a drawing tool (forming simple products of larger dimensions of sheet metal clamped at opposite ends. The sheet is stretched by movement of a punch).

5.4. Spinning and extrusion – classification and principle

Spinning, sometimes called **metal spinning or rotating** is a forming process in which a metal sheet spins around the axis of rotation and by acting of spinning tool is moved from the centre to the edge of rotating semi-finished product. The product is called die casting. Metal spinning is a combined bend with deformation under rotation. Bending under rotation with additional pressure to a small volume creates a local plastic deformation and increase in malleability.

Although deep drawing is a sophisticated process, spinning, due to its advantages and flexibility, is a suitable technological production process. Due to its possibility of being used in serial production, spinning is more economical in the case of small and medium-sized enterprises - Figure 13.

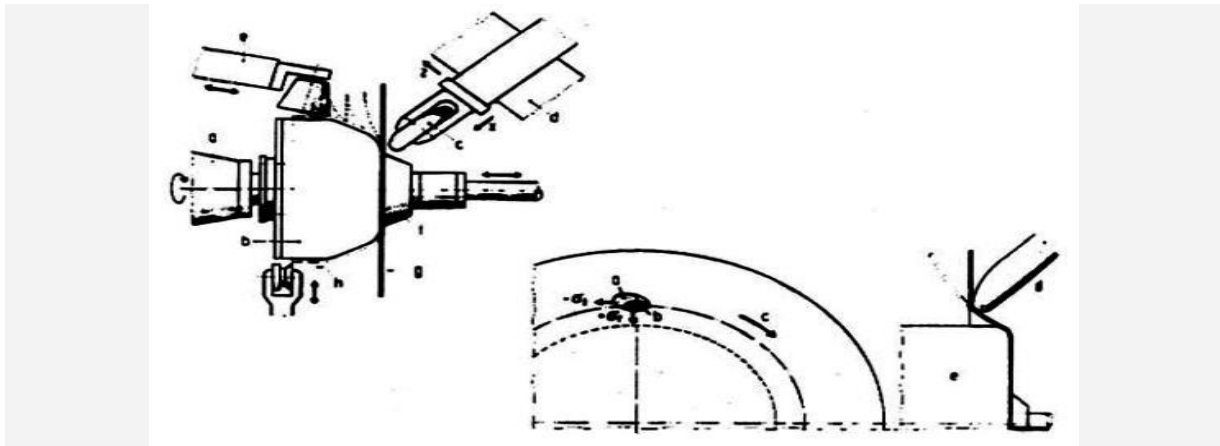


Figure 13 Spinning with more spinning operations

The material deformation at spinning is given by the ratio of clipping D_0 to inner diameter of the pressing d and it is calculated as $K=D_0/d$

The following operations are used for containers manufacturing:

- **Spinning** that transforms a planar disc into a hollow container. A part of it is only tapered or widened.
- **Thickness reduction spinning:** the starting semi-finished product is a drawn product or product manufactured by metal spinning.
- **Roller polishing** manufacturing products by multi-operation drawing.
- **Trimming**
- **Flashing** (to increase stiffness) and to reinforce the edges of pressing.

Extrusion is a basic operation of bulk forming and it is used for manufacturing the most complex shapes. In mechanical engineering, usually cold extrusion is used. The resulting shape of the component is made using a tool consisting of a die and a punch.

The forming force necessary for extruder acting on metal is through extrusion presses. The formed product is processed at a normal temperature of the environment. This is called cold extrusion. However, during the extrusion process, due to high pressure at high speed heat is generated in the component (up to 200°C). Despite this temperature, which is below the recrystallization temperature, this is referred to as cold forming. It increases the hardness and stiffness of the formed metal, while the ductility decreases.

Extrusion can cause high plastic deformation without disrupting the integrity of the material, although extrusion takes place under stress with prevailing pressure stress.

Basic extrusion methods:

Backward extrusion

At backward extrusion, the material flows against the direction of the punch movement. The semi-finished product first fills the lower cavity of the die. The bottom is either closed or with an ejector in it. Punch penetrates into the product, creating a cavity with a desired bottom thickness. The excess material flows through the gap between a punch and a die. Backward extrusion is used for manufacturing containers and cases (shells).

Forward extrusion

During forward extrusion semi-finished product is inserted into a die and pushed in the direction of the punch movement. The punch closes the opening in its movement into the die and the material flows in the direction of the punch movement. The resulting shape of the product is determined by the shape of the die and the depth into which the punch penetrates into the die. This method is used for manufacturing the products with a not fixed cross-section Figure 14.

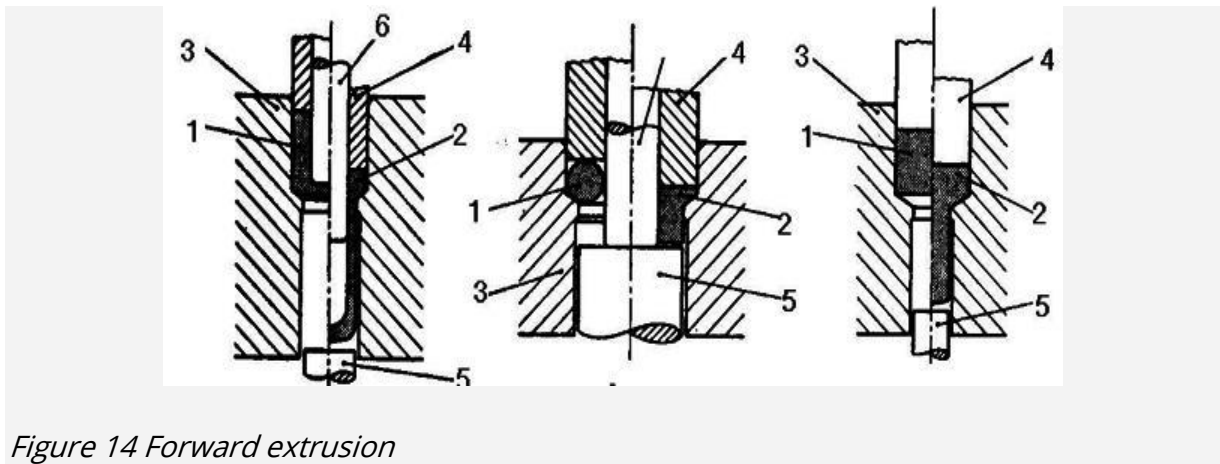


Figure 14 Forward extrusion

1. Starting product, 2. Resulting shape of product, 3. die, 4. punch, 5. ejector, 6. mandrel

Combined extrusion

Combined extrusion is a combination of forward and backward extrusion. The material moves both in and against the direction of the movement of the punch. The deformation at the bottom of the die must be smaller than in the upper part extruded by the punch, otherwise the bottom would not be filled with the material.

Side extrusion

Side extrusion is carried out in a split die so that it is possible to remove the product from the die. By press developed by upper and lower punch the material penetrates into the gap perpendicular to the direction of the punch acting. This method is used for manufacturing the components with protrusions around the product perimeter.

Sinking

Sinking is used for making functional tool cavities in order to make the cavity and increasing its life time. It is used most for production of coining die.

5.5. Free forging, die forging, hammer forging, press forging

Free forging is a technological operation trying to change a semi-finished product in order to achieve the required dimensions and shape.

Free forging operations are divided into **hand** and **machine forging**. Manual forging is done on anvil using hand forging tools. The material is heated in a forge or in smaller furnaces. Hand forging is very scarcely used nowadays (only for small repairs and artistic forging). Machine forging is done using hammers or presses.

For free forging, hammers are used. For forgings products of higher ram weight, hydraulic presses are used. Semi-finished product used is a rolled material or ingot.

Technological process of making forgings by free forging is very variable and often very complex. It includes a range of combined forging operations. The basic free forging operations include: ramming, tapering, stepping, offset forging, punching, cutting and bending.

Ramming – it refers to compression of the formed material while simultaneously decreasing its height and increasing the cross-section perpendicular to the direction of the compression (Figure 15).

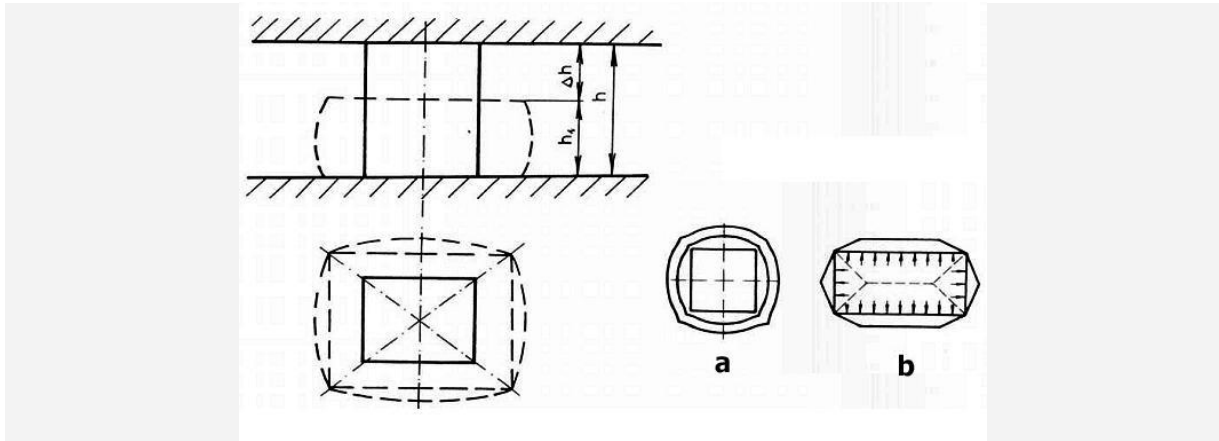


Figure 15 Free forging – ramming and change of cross-section in ramming
a – square cross-section, b – rectangular cross-section

Tapering – it is a forging operation increasing the length of the semi-finished product while decreasing its cross-section.

Stepping - is a forging operation in which a sudden passing of one part of forging into another part is created, with a simultaneous change of cross-section. For necking, flat or shaped punches are used.

Offset forging – it is an operation at which one part of forging is offset against the other either in one or two planes.

Punching – is a forging operation at which a hole is created by pressing a mandrel in a semi-finished product. The punch (mandrel) cross-section corresponds with the required shape of the hole. The punch can be full or hollow.

Cutting – is a forging operation which separates the semi-finished product into two parts or separates the excess material from the forging. Cutting tool (cutter) is pressed into the material, thus causing separation of the material. Cutter can be straight or shaped.

Bending – in free forging, bending is carried out in punches or by clamping the product between the punches and the free end is bent by crane, lever or chain.

Free forging machines

In industrial plants, machines most frequently used for free forging are pneumatic hammer, steam hammer and hydraulic forging presses.

Die forging is characterized by a directed metal flow in a two-part die cavity. The starting product is inserted into the bottom part of the die. Due to the energy of the forming machine, one die part moves against the other and the material fills the die cavity. When the cavity is filled, the die is closed and the material is formed in the required shape.

Dies used in forging:

- Open with a gap between the upper and the bottom part in the parting plane (with a flashing groove along the perimeter of the cavity).
- Closed without the flashing groove, the volume of the initial material equals to the volume of the forging.

Filling the cavity is affected by the speed of the deformation depending on the type of the tool used. The impact effect of hammers causes high speed of the material flow in the direction of the impact and static force of the press causes better filling of the cavities in the direction perpendicular to the force. These differences influence the choice of the forming machine and forging operation for a given component (Figure 16).

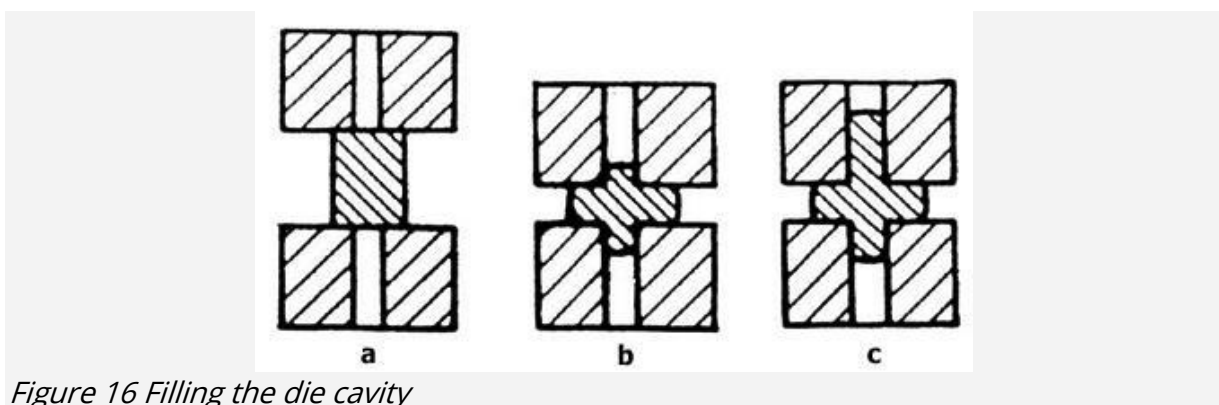


Figure 16 Filling the die cavity

a- Before deformation, b- press forging, c- hammer forging

Flashing groove is used to catch the excess material and for the regulation of the press in the cavity. When the cavity is filled, the excess material is pushed to the flashing groove. The amount of the metal (flashing) depends on the amount of the metal in the cavity and on the relation between the longitudinal section of the cavity and the blank. This determines the character of cavity filling. In filling the cavity by means of hammering, the flashing is smaller than in the case of sinking (Figure 17).

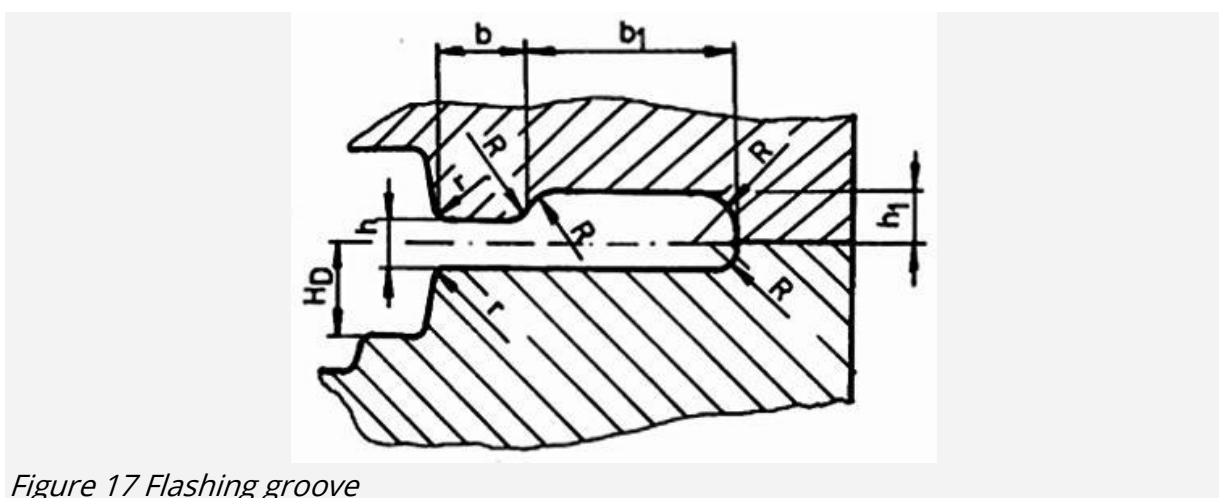


Figure 17 Flashing groove

5.6. Rolling – classification and principle

Rolling in mechanical engineering is used for manufacturing of flat blanks and finished forgings with repeated cross-section (e.g. black tools, rings of various diameters, etc.).

Rolling of rings

Rings of large diameters are manufactured by forming loosely on mandrel or by rolling. Rolling technology for rings is used in hot and cold forming. This technology is suitable for mass production and serial production, since the costs of single-purpose rolling equipment are high (Figure 9.18).

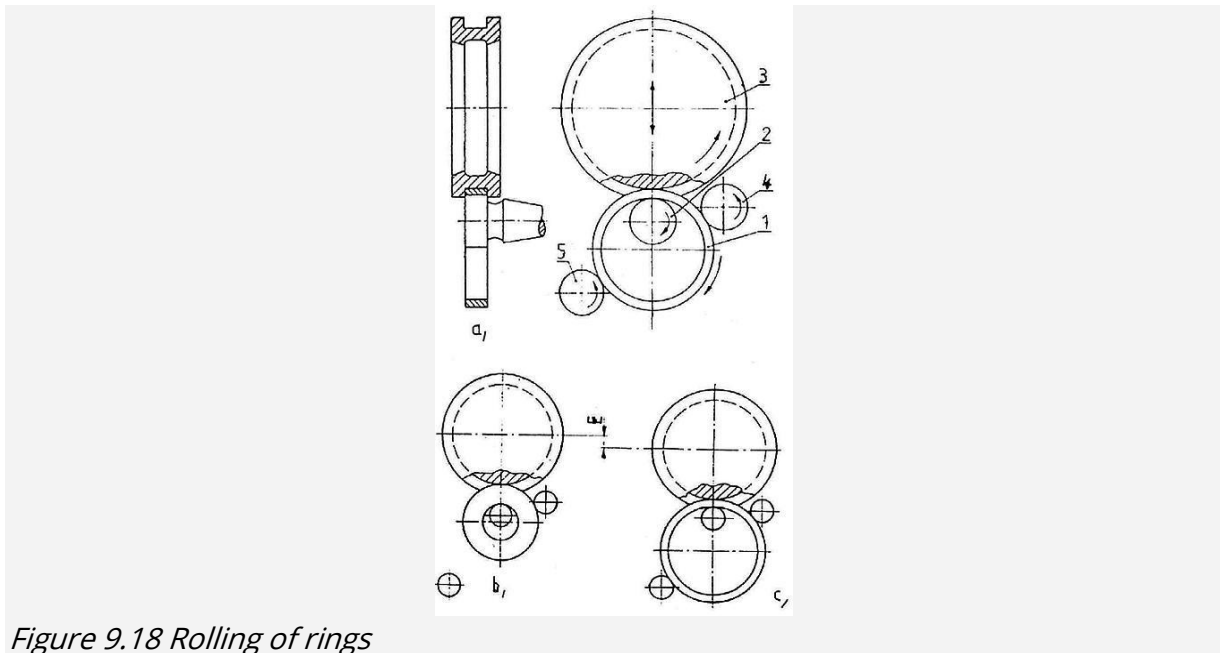


Figure 9.18 Rolling of rings

The starting material is a tube or billet that is hammered, die-forged, punched and then rolled. The ring is then placed on the support cylinder (2) and using advancing cylinder (3) the material is pushed and reduced at simultaneous rotation. The ring guide is secured by the cylinders (2, 4 and 5). When the required parameters are achieved, the control cylinder (5) stops the cylinder stroke (3). Rolling is used for manufacturing rings of a 2500-mm diameter.

Advantages of this technology:

- Machining allowances are smaller and thus the material consumption is reduced, the machining time is shorter, and the consumption of energy and tools is lower.
- Increases the bearing capacity of bearings and other (by nearly 40 %)

6.Literature

ADAMKA, J. a kol., 1990. Základy strojárskiej technologie. Bratislava: Alfa. 172 s. ISBN 80-05-00023-5.

BLAŠČÍK, F. et al.: Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvárana. ALFA Bratislava 1988

HLUCHÝ, M., 1984. Strojárska technológia I. Praha: SNTL.

MURGAŠ, M. a kol. : Technológia zlievarenstva, Bratislava, STU, 2001

PUŠKÁR, A.: *Mikroplastickosť a porušenie kovových materiálov*, VEDA, Bratislava, 1986

VÁCHAL, J., M. VOCHOZKA a kol., 2013. *Podnikové řízení*. Praha: Grada publishing, a.s.. ISBN 978-82-247-4642.

VASILKO, K. a G. BOKUČAVA, 1991. *Technológia automatizovanej strojárskiej výroby*. Bratislava: Alfa. 275 s. ISBN 80-05-00806-6.

VELES, P.: *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*, Bratislava, 1989

ZDRAVECKÁ, E. – KRÁL, J.: Základy strojárskiej výroby. Košice 2004

<http://www.grafen.cz/auto/item/19-nove-technologie-pro-auta-budoucnosti>

ENGINEERING TECHNOLOGIES 3

1. Rapid prototyping

1.1. Rapid prototyping

History

- 1980's – first method developed (RP – STEREO LITHOGRAPHY)

Application

- Creation of a model – Rapid modeling
- Manufacturing of tools and devices – rapid tooling
- Marketing and piece production – rapid manufacturing

Advantages

- Reduction of production costs
- Quality improvement
- Product and technology development
- Manufacturing of products of a complex shape
- RP enables to verify the function, design and ergonomics of a product in even under development

Materials used

- liquid, powder, polymer, paper

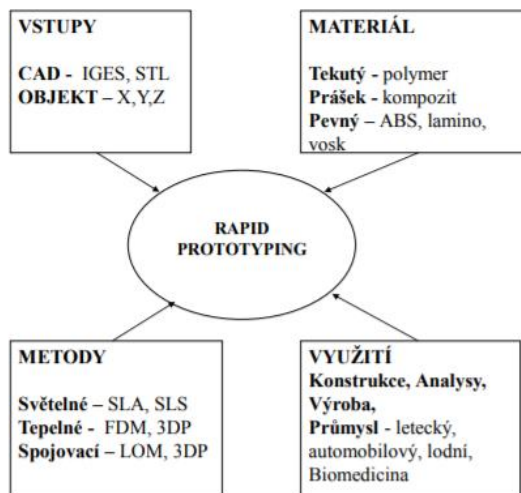
Development of technology

- Materials with better technological properties
- Using compound materials for production (glass, carbon or Kevlar fibers filled plastics)
- Increasing products precision and quality
- Reducing production costs of products

- Reducing the equipment price
- Automation of production
- Material and energy saving

Definition of Rapid Prototyping

- Rapid prototyping includes all technologies that automate production process of 3D and compact objects from original materials
- A set of technologies that enable the production of models and prototypes of complex parts directly based on 3D CAD data. The product can be manufactured using various materials depending on the equipment.



Legend: vstup - inputs, objekt - object, materiál - material, tekutý fluid, polymer - polymer, prášek - powder, kompozit - compound, pevný - solid, lamino - lamino, vosk - wax, metody - methods, světelné - light, tepelné - heat, spojovací - connecting, využití - use, konstrukce - design, analýzy - analyses, výroba - production, průmysl - industry, letecký - air, automobilový - automotive, lodní - ship, biomedicína - biomedicine

1.2. Methods, Characteristics, Types of Rapid Prototyping

By production process, RP is divided into:

- Layers added using laser
 - Point curing
 - Layer curing
- Layers added without using laser
 - Point curing

- Layer curing
- Examples:
 - **SLA** - StereoLithography Aparatus, liquid acrylate, point, laser
 - **SGC** - Solid Ground Curing, liquid acrylate, UV lamp
 - **SLS** - Selective Laser Sintering, composite of 2 types of powder, sintered
 - **FDM** - Fuse Deposition Modeling, ABS plastics added by extrusion
 - **LOM** - Laminated Object Modeling, paper laminating, laser
 - **3DP** - Three Dimensional Printing – layer printing, powder gluing

Function and importance of prototyping

- Concept – sharing all ideas
- Suitability – testing the design dimensions
- Shape – assessing the aesthetic and ergonomics of components
- Functionality – testing in working environment
- Offer – valuation of product in terms of offer
- Marketing – communication with customer on design

Types of prototypes

- Construction prototypes
 - Checking geometry and assembly
- Prototypes of design
 - Improving the communication between the partners – checking the design
- Functional prototypes
 - Testing and analysis of airflow types – models for wind tunnels
- Technical prototypes
 - Functionality, features

1.3. Stereolithography

- 1st RP technology
- The most precise production of complex products and models
- Addition-method of production (combining, adding materials)

Principle of the method

- 3D PC model is converted into a required format
- Entering data into the RP software
- Creating a virtual model and its cutting and setting the thickness of the layers
- Proposal of support

Application

- Products with inner cavities and complex details
- Models for foundry – manufacturing of molds and tools
- Replacement of wax models
- Models for medical industry and aerospace
- Checking the design of a designed object
- Disadvantages
- Slow polymer curing
- Low heat resistance
- Materials used
- Photopolymers – react to light by curing
- Acrylic or epoxide resins
- Parts of stereo lithographic equipment
- Work chamber
- Laser equipment
- Control system

Production process

- Creation of a 3D PC model
 - Creating a model in a CAD/CAM system
 - Scanning from CAT tomography apparatus
 - 3D measuring apparatus – dimensions
 - Creating a working STL program
 - Moving the file into the software of the given program
 - The program prepares the model for the production process – creation of a working program with an STL ending
 - The model is cut into identical layers
 - Stereo lithographic process
 - Laser generates a ray
 - Drawing of layers surfaces – curing of material

- The movement of laser is controlled by the program
- Next layer is applied after curing of the previous one

- Product curing in UV furnace
 - Product is dried and cured

- Completion of product
 - Surface treatment
 - Possible to apply fillers, dye layer
 - Surface polishing
 - Surface roughness – 1-2 μm
 - Accuracy – hundredths of mm

- Support
 - The most appropriate position of the model on the platform ensured by stands
 - The stands must be placed so that they could be easily removed after completion of the process
 - After curing process the model is taken out and cured in an UV chamber

- Facing cutter
 - After curing of each individual layer, the cutter aligns the resin level so that the same thickness of another layer is achieved

1.4. Selective Laser Sintering SLS

Scheme:

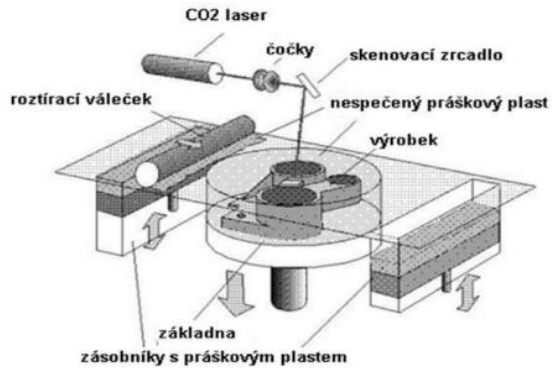
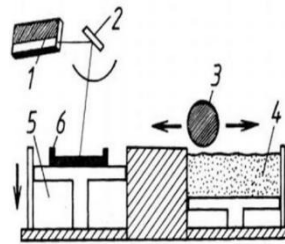


Schéma zařízení sinteringu



- 1 – laser
- 2 – zrcadlo
- 3 - válec pro dopravu prášku materiálu obrobku
- 4 - zásobník prášku
- 5 - pracovní komora
- 6 - vyráběná součást

Legend: roztírací váleček – squeegee, čočky – lens, skenovací zrcadlo – scanning mirror, nespečený plastový prášek – non-sintered powder plastics, výrobek – product, základna – platform, zásobníky s práškovým plastem – feeders with powder plastics, schéma zařízení sinteringu – sintering scheme, zrcadlo – mirror, válec pro dopravu prášku materiálu obrobku – cylinder for transporting the powder of workpiece material, zásobník prášku – powder feeder, pracovní komora – work chamber, vyráběná součást – component being manufactured

- Models are very strong
- Use of powder sintering by means of CO2 laser
- The powder is applied in layers on the carrier plate in the internal atmosphere (nitrogen or argon)

Principle

- Using laser, the material is sintered or it melts and solidify
- Surrounding material creates a natural support
- Manufactured by layers
- The carrier plate is moved down after creation of one layer

Materials used

- Powder that melts under heat
- Thermoplastics
- Special low-melting alloys
- Steel powder

Production equipment

- Powder feeder

- By means of a lifting piston and cylinder, the powder is transported to the place of curing
- Optical systems
 - Laser cures a chosen surface, than the platform is moved down by the thickness of the layer and the process is repeated
 - Platform – the product is placed there

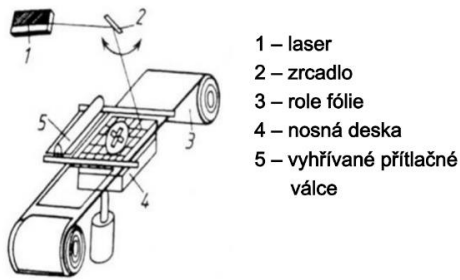
Model = product

- Model is placed in uncured powder
- After curing, the powder must cool down
- Due to ensure the protection of the surface quality, the chamber is filled with inert gas

1.5. Laminated object manufacturing LOM

- The principle consists in laminating the individual layers on each other
- Materials used include paper, plastics, wood, tin
- The method is based on layering a sticky material
- Components are created of special plastic foils or many paper layers impregnated with a strengthening material
- The individual layers are cut into a proper shape by a CO2 laser
- Product characteristics
 - Similar to wood
 - Hand-held laser processing for smooth surface
 - Suitable for larger components
 - Disadvantage

LOM scheme



Legend: zrcadlo – mirror, role fólie – foil roll, nosná deska – carrier plate, vyhřívané přitlačné válce – heated pressure rollers

- LOM layering of a sticky material
 - Layering of foil and bonding material
 - The material is unwound to the carrier plate
 - The desired shape is created by the laser
 - The layers are connected under pressure of heated roller
 - The remaining foil is wound back to the roller
 - The carrier plate moves down and the process is repeated

1.6. 3D printing

3D printing definition

- 3D It is connected with the technologies related to the processes of applying thermoplastic / thermoset polymers and wax to create 3D solid objects

Basically two technologies are used

- A single nozzle production
- A multiple nozzle production

Types of material used

- Wax
- Heat curable UV resin
- Thermoplastic polymers containing paraffin, hydrocarbon wax and dyes

- Thermoplastic polymers containing hydrocarbons, amides and esters for higher durability
- Cannot be recycled – filtered product

“3D printing includes the technologies used for layer approach of creating products or components by applying powder layers and subsequent binding into a shape of a solid object

It´s a process similar to laser sintering x binder blasting binds powder

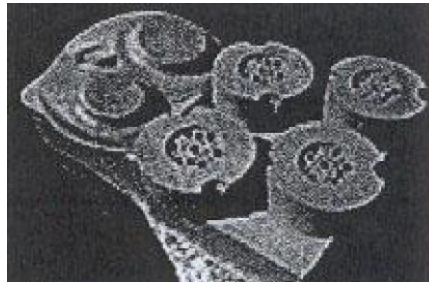
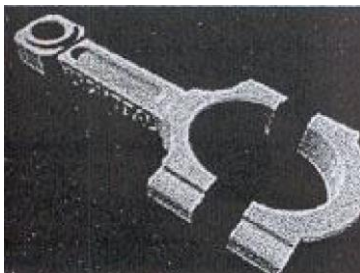
3D Printing uses inkjet heads for application

Process of components producing

- Importing an STL file to software interface
- Filling the vat with powder
- Spreading of the powder from the vat
- Pressing the binding material on the powder and shaping the first cut
- The remaining powder creates a support for the overhanging layers
- Lowering the carrier plate and applying a new layer on the surface
- The whole process is repeated

3D Printing – Metals

- Application and binding of metal powders
- The process itself is the same, what is different is post processing, during which the components are sintered in the furnace in order to remove the binding material and to connect the metal molecules



2. Steel Production

Steel production is a metallurgical process of producing steel from pig iron by removing excess carbon and other unwanted elements such as phosphorus and sulphur and adding necessary elements, such as manganese, aluminum, silicon and others.

Steel is produced in specialized metallurgical plant called steelworks.

2.1. Raw materials

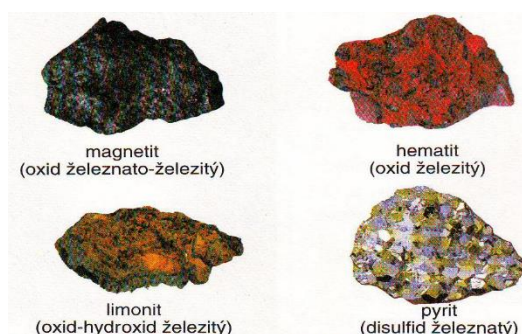
Iron ore (consists mainly of oxygen compounds of iron):

- Fe_2O_3 – red iron ore (hematite)
- Fe_3O_4 – magnetic iron ore (magnetite)
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – limonite
- FeS_2 – pyrite

Coke (black coal) – it is almost pure carbon, it is used to reduce iron oxides

Limestone CaCO_3 – helps form so-called slag from rock that occurs with iron ore.

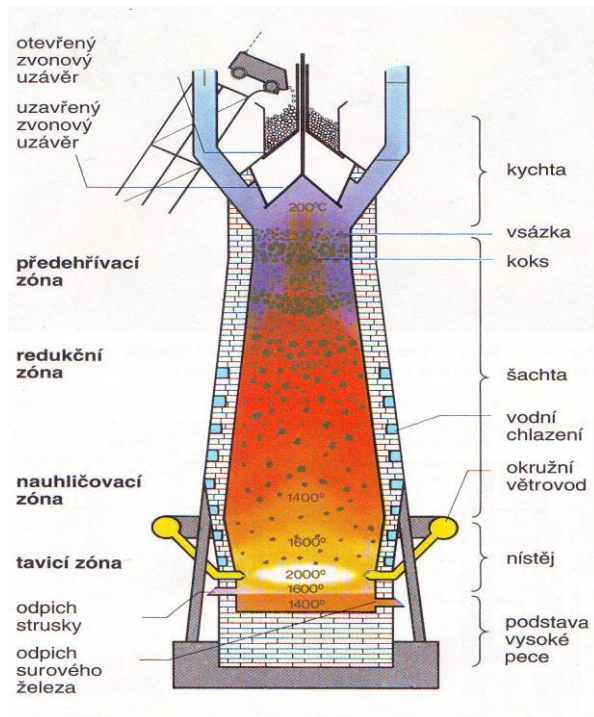
Additional iron ore rocks are called **gangue** which is mostly removed before the blast furnace.



Legend: magnetit (oxid železnato-železitý) – magnetite (iron oxide-ferric oxide) , hematit (oxid železitý) – hematite (ferric oxide), limonit (oxid-hydroxid železitý) – limonite (ferric oxide-hydroxide), pyrit (disulfid železnatý) – pyrite (ferrous disulfide)

2.2. Blast furnace

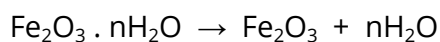
Up to 40m high, 15m wide shaft furnace of steel, with fire-resistant bricks inside. It works non-stop up to 10 years.



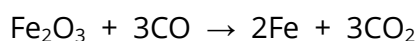
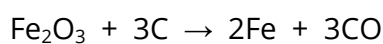
Legend: Otevřený zvonový uzávěr – open bell-shape closure, uzavřený zvonový uzávěr – closed bell-shape closure, předehřívací zóna – pre-heating zone, redukční zóna – reduction zone, nauhličovací zóna – carburization zone, tavicí zóna – melting zone, odpich strusky – slag tapping, odpich surového železa – pig iron tapping, kychta – blast furnace, vsázka – charge, koks – coke, šachta – shaft, vodní chlazení – water cooling, okružní větrovod – air duct, nístěj – hearth, podstava vysoké pece – blast furnace base

2.3. Reactions in blast furnace

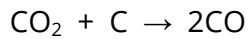
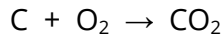
Drawing raw material:



Iron reduction:



Burning coke:



2.4. Pig iron and slag

Slag protects the surface of melted iron against oxidation.

Pig iron and slag tapping from the bottom of the blast furnace is carried out each two hours.

Pig iron contains the following additives: about 4% of C, Mn, Si, P, S. It is very hard but brittle. It is cast into molds (cast iron) and it is used for manufacturing heaters, machine parts, pipelines etc., but mostly it is further processed into **steel**.

- Pig iron is a **primary product** of melting iron ore with coke, limestone and other additives in blast furnace.
- **High carbon content** – more than 2.14 %, typically even more than 3.5 %.
- Due to high carbon content, pig iron is hard and brittle. It melts when heated to **1150°C - 1250°C** without heating over a ductile state.
- Therefore, hot or cold forming is not possible.
- It is also called **non-malleable iron** and its direct use is very limited.
- However, it is the starting material for producing other types of technical iron.

Classification of pig iron

Grey pig iron – the more iron is removed in the form of graphite, the darker the color is, it is softer and better malleable. It is well cast, therefore it is used for foundry purposes.

- Steel
- Foundry: grey cast

- Cured cast
- Modified cast
- Malleable cast
- Alloyed cast
- Non-alloyed cast

White pig iron – removed cementite caused its hardness; it is therefore further processed in steelworks into steel.

- steel
- foundry:
 - white cast
 - non-alloyed tempered cast

special pig iron – ferro-alloy – besides carbon, it contains other elements, such as manganese, silicon, chromium, vanadium, molybdenum. The elements are used as additives in production of alloy-alloyed steel and cast.

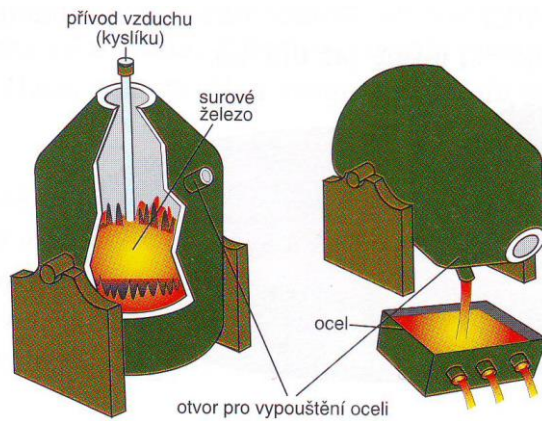
2.5. Steel production

For improving the quality of pig iron, the process of so-called refinement process is used in steelworks (it refers to removing most of carbon and other elements impurities).

Converter method: removing unwanted impurities consist in their oxidation by air oxygen in a converter (special tilting furnace).

In hearth furnaces: oxidation of unwanted impurities by oxygen from ferrous scrap or treated iron ore.

Converter for steel production



Legend: přívod vzduchu (kyslíku) – air (oxygen) intake, surové železo – pig iron, ocel – steel, otvor pro vypouštění oceli – steel outlet

Steel

- Slowly cooled (tempered) steel is less hard and bendable.
- Quenched (fast cooled) steel is hard but brittle.
- Max. 1.7% of carbon.
- The more carbon the steel contains, the harder it is.
- Steel properties are improved by adding small quantities of some other metals (chromium, nickel, vanadium, tungsten, etc.).

Kinds of steel

Proportion of carbon	Carbon steel		Special steel	
	Properties	Use	Additives	Use
About 0.25 %	Malleable and ductile	Sheets for cans and car bodies, wires, nails	Chromium 25 %, nickel 20 %, silicon 0.5 %	Very strong: armored plates
0.25 – 0.7 %	Hard and rigid	Rails, axes, structural steel	Chromium 18 %, nickel 8 %	Stainless steel
0.7 – 1.7 %	Very hard	Steel springs, blades, tools	Chromium 6 %, Tungsten, vanadium, cobalt	Heat resistant: steel machining tools

3. Steel Marking

Steel marking is given by standards. The individual bars, tubes or sheets are **color marked** in production.

Besides color marking, also **numeric marking** is used. The numeric mark of steel consists of a **basic numeric mark** (5 or 6 digits). This mark can be complemented by **additional numeric mark** – a two-digit mark, separated by a dot from the basic mark.

Forming steel mark: 1x xxx or 1x xxx.xx

Foundry steel mark: 42 xxxx or 42 xxxx.xx

3.1. Forming steel

Steel class 10 – structural steel, carbon steel of common quality

Steel class 11 – structural steel, carbon steel of common quality

Steel class 12 – structural steel, special carbon steel

Steel class 13 – 16 – structural steel, special steel, alloy steel

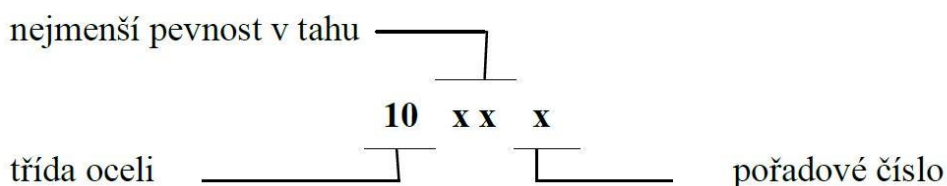
Steel class 13 – 15 low alloy steel

Steel class 16 low and medium alloy steel

Steel class 17 – structural steel, special high alloy steel

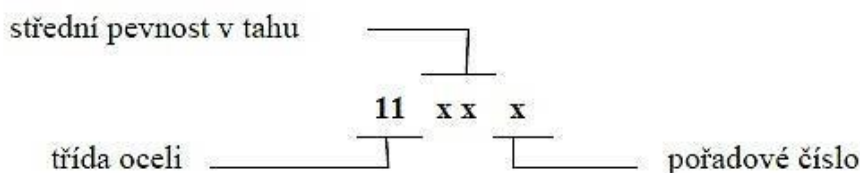
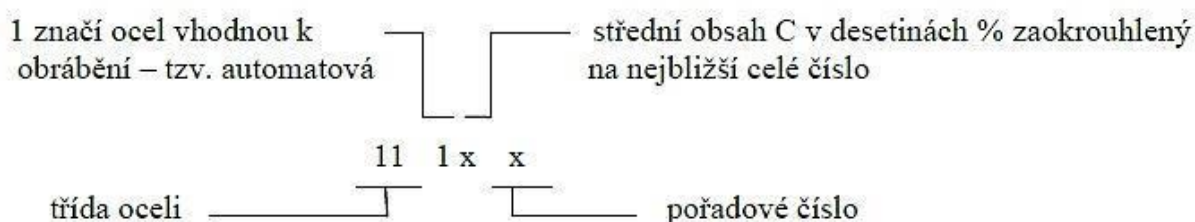
Steel class 19 – tool steel

Oceli třídy 10 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí



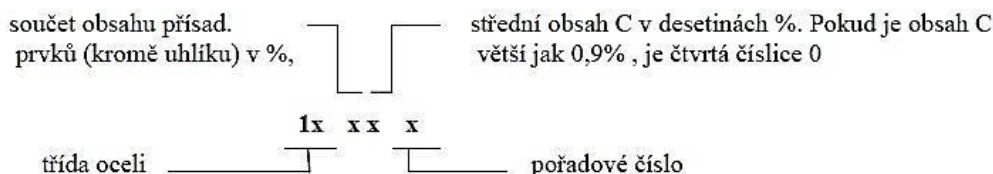
Legend: oceli třídy 10 – steel class 10, oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí – structural steel, carbon steel of common quality, nejmenší pevnost v tahu – low tensile strength, třída oceli – steel class, pořadové číslo - order number

Oceli třídy 11 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí



Legend: oceli třídy 11 – steel class 11, oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí – structural steel, carbon steel of common quality, 1 značí ocel vhodnou k obrábění - 1 is steel suitable for machining, střední obsah C v desetinách % zaokrouhlený na nejbližší celé číslo – medium C content in tenths %, rounded to the nearest whole number, třída oceli – steel class, střední pevnost v tahu – medium tensile strength

Význam jednotlivých číslic číselné značky u ocelí třídy 12 – 16 se posuzuje stejně.



Význam jednotlivých číslic číselné značky u ocelí třídy 12 – 16 se posuzuje stejně: individual digits for steel class 12 – 16 are identified in the same way. Součet obsahu přísad. prvků kromě uhlíku v % - sum of content of additives besides carbon in %, střední obsah C v desetinách % - medium C content in tenths %. Pokud je obsah C větší než 0.9 %, čtvrtá číslice je 0 - if the C content is higher than 0.9 %, the fourth digit is 0.

Steel class 17

By the alloy degree, steel class 17 is divided into medium alloy and super alloy steel.

These steels are alloyed by several times higher number of alloy elements (as in the cases of steel classes 13 – 16).

There are many kinds of steel class 17. These are steels that can be **corrosion-resistant, refractory, heat resisting and special** steels. They are alloyed mostly by chromium, manganese, silicon, nickel, tungsten, titanium, vanadium and other noble elements.

Numeric mark	Significance of the third digit
17 0 xx	steels alloyed by chromium, chrome steel
17 1 xx	chrome steel + other elements Mo, Al
17 2 xx	chrome-nickel steel
17 3 xx	Chrome-nickel steel + other elements Ti, Nb, Mo, V, W
17 4 xx	manganese-chromium or manganese-chromium-nickel steel
17 5 xx	Nickel steel
17 6 xx	Manganese steel
17 7 xx	Manganese-nickel steel
17 8-9 xx	Special combination of elements
The fourth digit expresses the amount of additives. The fifth digit expresses increasing C content	

Steel class 19 – tool steel

Numeric mark	Third digit in the mark
19 0 xx	Tool carbon steel
19 1 xx	

19 2 xx		
19 3 xx	Manganese steel	Alloy tool steel
19 4 xx	Chromium steel	
19 5 xx	Chromium-molybdenum steel	
19 6 xx	Nickel steel	
19 7 xx	Tungsten steel	
19 8 xx	High-speed steel	
The fourth digit indicates the combination of additives. Fifth digit indicates the method of steel production		

Casting steel

Numeric mark	Significance of third and fourth digit in the mark	
42 26 xx	Casting steel - carbon	
42 27 xx	Casting steel – low and medium alloyed, cast into sand molds	
42 28 xx	Casting steel, low and medium alloyed, cast in other way than in sand molds, steel for permanent magnets	
42 29 xx	High-alloy casting steel	
<p>The first two digits – 42 indicates the steel industry standard</p> <p>Second two digits indicates the group of steel</p> <p>Third two digits indicates the following:</p> <p>Carbon steel – 00-29 – steel is cast in other way than in sand molds</p> <p>30 – 99: value of tensile strength in MPa</p> <p>Alloy steel: groups of alloying elements</p>		
Numeric mark	First additional digit	
1x xxx.0 x	Not heat-treated	
1x xxx. 1 x	Normalized and annealed	

1x xxx. 2 x	Normalized with a specified type of annealing
1x xxx. 3 x	Soft annealed
1x xxx. 4 x	Hardened or hardened and tempered
1x xxx. 5 x	Normalized and tempered
1x xxx. 6 x	Refined to lower strength typical of specific steel
1x xxx. 7 x	Refined to medium strength typical of specific steel
1x xxx. 8 x	Refined to higher strength typical of specific steel
1x xxx. 9 x	Heat-treatment than cannot be written using digits 0 - 8
Second additional digit indicates the degree of forming materials	

3.2. Grey cast

Grey cast is a mixture of a basic steel material in which graphite flakes are dispersed in various directions.

The shape depends on the chemical composition and the cooling rate on cast.

Cast properties are influenced by the size and distribution of the chips.

There can be several shapes of graphite: crisp, spider´s grip, regularly grainy or imperfectly grainy.

The distribution of graphite can be uniform, in rosette, controlled, uncontrolled, mixed.

3.3. Malleable cast

Malleable cast is produced of grey cast by so-called **inoculation**. This refers to adding

magnesium directly into casting ladle with melted cast.

Due to magnesium added, graphite flakes turn into **balls** – so-called graphite crystallization occurs.

Such a structure is called **perlitic**. With this structure, the properties of the new cast change significantly.

Malleable cast structure: ferritic, perlitic, ferritic–perlitic, perlitic–ferritic

3.4. Tempered cast

It is produced by means of **tempering** – **long-term annealing** of white cast iron, during which **cementite** is decomposed into iron and graphite.

Tempered graphite is eliminated in the shape of irregular grains. Its presence influences the properties of tempered cast iron similar to ball graphite in malleable cast iron.

In some cases, cast iron has greater shrinkage rate and worse excursiveness; therefore it is not suitable for manufacturing of large castings (up to 100 kg).

4. Non-ferrous metals and their alloys

4.1. Classification and marking of non-ferrous metals

Besides ferrous metals, **non-ferrous metals** are irreplaceable or poorly replaceable in technical practice.

Most of these pure metals do not have the properties required in the construction of machine parts.

They are heat and electric conductors, oxidation (corrosion)-resistant, but they are mostly soft and have low tensile strength.

Classification of non-ferrous metals:

- **Heavy non-ferrous metals** and their alloys (density over 5 kg/dm³),
- **Light non-ferrous metals** and their alloys (density to 5kg/dm³).

Numeric marking of non-ferrous metals and alloys

- **42** x x x x – **42** indicates the **metallurgy** class
- 42 **3** x x x – **3** indicates **heavy metals and their alloys**
- 42 **4** x x x – **4** indicates **light metals and their alloys**
- 42 x **x** x x – fourth digit **0, 2, 4, 6, 8** –wrought products
- 42 x **x** x x – fourth digit **1, 3, 5, 7, 9** –foundry products
- 42 x **x****x** x – **heavy or light metals**
- 42 x x x **x** – sixth digit is order
- 42 x x x x. **x** x – first additional – heat treatment
- 42 x x x x. x **x** –cast method in the case of casting

4.2. Heavy non-ferrous metals and their alloys

Heavy metals include:

- lead,
- nickel,
- antimony,
- tin,
- zinc,
- cadmium,

The main representative of the heavy non-ferrous metals and also the most widely used one is **copper and its alloys**.

4.3. Copper and copper alloys

- Melt temperature 1083 °C.
 - Density 8.96kg/dm³.
- + It has six times higher heat and electricity conductivity than steel.
- + Tough.
- + Easy to weld and solder (both brazing and soldering is possible).
- + Corrosion-resistant.
- Soft.
- More difficult machining due to copper softness.

Classification of copper:

- **Copper for forming purposes** – directly processed
- **Copper for foundry purposes** – used mainly for alloys.

Copper alloys:

- Copper alloys for forming purposes,
- Copper alloys for foundry purposes.

4.4. Bronze

Bronze is alloy of copper and various non-ferrous metals **except for zinc**.

Bronze is classified as **bronze for forming purposes** and **bronze for foundry purposes**.

There are several types of bronze based on the major alloying element:

- Tin bronze – up to 20% Sn
- Red bronze – up to 10% Sn + Pb
- Leaded bronze – up to 33% Pb + Sn
- Nickel bronze
- Aluminium bronze

4.5. Brass

Brass is copper alloy with zinc and other metals. If brass contains more than 80 % of Cu, it is called **tombac**.

Best alloyed: 60 % Cu.

The highest tensile strength: 70 % Cu.

Marking: Ms 70 – the number expresses the Cu content in %. (e.g. Ms 85, Ms 90 – **tombac**).

Architectural brass, e.g. Ms 63 Pb is brass with added lead.

Foundry brass is marked Ms L 60 – where the number indicates % of Cu content.

4.6. Lead and its alloys

- Density 11.34 kg/dm³,
- Melt temperature is 327 °C.

+ easy to alloy

+ easy to machine (except for filing)

+ corrosion-resistant, resistant to chemicals

- Soft

4.7. Nickel and its alloys

- Density 8.9 kg/dm³
- Melt temperature 1453 °C,
- Its electricity conductivity is 4 times lower than copper x better than steel.
- Easy to alloy, solder and weld
- Good corrosion-resistance.
- Ferromagnetic up to the temperature of 356 °C.
- Heat resisting to 800 °C (+ Cr up to 1300 °C)
- Used mostly as an alloying element in manufacturing various kinds of steel, especially steel class 17.
- For manufacturing of alkaline battery, as a positive plate,
- Used in food industry, chemicals industry, production of surgical instruments
- Used for metal protection against corrosion (nickel plating)

4.8. Zinc and its alloys

- Density 7.13 kg/dm³,
- Melt temperature 419 °C,
- Electricity conductivity is slightly higher than that of nickel
- Easy to alloy and solder.
- Mechanical properties change with temperature changes
 - brittle at normal temperature,
 - malleable at the temperature of 100 - 150 °C
 - at 200 °C it loses its malleability and it's brittle.
- Various corrosion-resistance.

Zinc used to be produced using the same technology as in the case of copper produc-

tion. Currently, zinc is produced electrolytically (99.9%).

4.9. Tin and its alloys

- Density 7.3 kg/dm³,
- Melt temperature is 232 °C,
- Relatively low electrical conductivity
- Corrosion-resistant.
- There are 2 modifications:
- **β modification** – the prevailing one. This modification is called **white tin**
- **α modification** – also called grey tin (grey powder). Modification starts at its cooling to the temperature of 13 °C
- β-α transformation **tin pest**.

4.10. Cobalt

- Density 8.9 kg/dm³,
- Melt temperature is 1495 °C.
- Used as metal admixture in steel,
- Increases the refractoriness and heat resistance of steel up to the temperatures of 800 - 850 °C.
- Production of air jet and rocket engines, alloying element for high speed steel, production of **cemented carbide**

4.11. Tungsten

- Density 19.3 kg/dm³,
- Melt temperature is very high: 3380 °C.
- Relatively good electricity conductivity (about twice as high as steel).
- Tensile strength 1100MPa.
- High hardness - 200HB.
- Production of components working at high temperatures, alloying element for refractory and heat-resistant steel, component of tool steel, production of cemented carbide, products of powder metallurgy.

4.12. Molybdenum

- Density 10.2 kg/dm³,
- Melt temperature 2630 °C.
- Its electricity conductivity is lower than that of tungsten.

- Strength 700MPa
- Hardness 150HB
- Creates refractory and heat-resistant alloys.
- Alloying element for production of steel components working at high temperatures, tool steel – for production of high-quality cutting tools
- In powder metallurgy, for production of thermally and mechanically stressed products.

4.13. Chromium

- Density 7.14 kg/dm³,
- Melt temperature is 1910 °C,
- Corrosion-resistant, resistant to chemicals.
- It is both heat-resisting and refractory
- Brittle

Alloying element in manufacturing structural, corrosion-resistant, and tool steel.

Steel protection against corrosion.

Decorative surfaces in automotive.

4.14. Light non-ferrous metals and their alloys

- aluminium – **Al** and its alloys
- titanium – **Ti** and its alloys
- manganese – **Mg** and its alloys.

They are used in production of steel as well as of non-ferrous alloys, significantly affecting their mechanical and other properties.

4.15. Aluminium and its alloys

- Density 2.7kg/dm³,
- Good heat and electricity conductivity (60% conductivity of copper)
- Easy to form and weld (+Si).
- Corrosion-resistant, resistant to chemicals.
- Forming at the temperatures of 450 - 500 °C.

Changes of mechanical properties =Al+Cu;Mg;Si;Mn;Zn...

Production of Al

- Aluminium content in ores - over 8 %.
- Produced almost exclusively from so-called **bauxite**.
- Chemically - alumina Al_2O_3 .
- Electrolysis - Al of 99.3% - 99.8% purity,
- **Zone refining** - Al of 99.999% purity.
- Cast in so-called pigs, ingots, blocks, or slabs

Classification of Al

- **By number of melting processes:**
 - First melting aluminium - is obtained directly from raw material.
 - Second melting aluminium - re-melting of aluminium waste.
- **By its use:**
 - Aluminium and its alloys used for forming purposes
 - Aluminium and its alloys used for foundry or metallurgy purposes

Aluminium alloys used for forming purposes

The best known alloy: Al – Cu4 – Mg -- **Dural**.

- Strength at cured state - 400 MPa.
- Low corrosion-resistance; therefore it is coated by aluminum

Al – Cu4 – Mg1- **superdural**

- Strength over 500MPa.

Both alloys are used for manufacturing bar profiles and sheets; used in air industry.

Al + Cu + Ni

- Stable mechanical properties even at high temperatures.
- Strength 400MPa
- Used for manufacturing combustion engines components, such as pistons or piston-rods.

Al + Mg with Mg content from 2 to 8 % - **Hydronalium**

- Corrosion-resistant,
- Strength over 400MPa
- Used in air industry

Al + Mn

- Corrosion-resistant
- Used for manufacturing of containers in food or chemical industries.

Alloys Al + Sn

- Production of sliding bearings. Al – Sn20,
- Cladded into steel sliding bearings in the form of thin bands, as **lining**.

Foundry aluminium alloys

- Temperature of the melted metal 700 – 750 °C.
- They are cast into sand and metal molds (**ingot molds**); also die-casting.
- Alloying element for these alloys is Si – silicon

Silumin Al Si13 – with a small quantity of magnesium,

- Melt temperature 577 °C,
- Inoculated by Na before casting.
- For production of aircraft or combustion engines.

4.16. Magnesium and its alloys

- Its density 1.74kg/ dm³.
- Low weather resistance.
- Extremely low resistance to sea water.
- Mg has a high affinity to oxygen; therefore it is used as deoxidizer, for welding in controlled atmosphere CO₂.
- Protection against corrosion by chromating = pickling in the solution of potassium or sodium dichromate – coating of chromium compounds.
- Mg alloys welding is difficult.
- Soldering not possible.
- Connecting is done mostly by riveting.
- Magnesium can be obtained from sea water 0.14%.
- Other raw materials: **magnesite and dolomite**.
- It is produced by **electrolysis** at temperatures 700 - 750 °C, or by **refining** or **silico-thermic reduction** of dolomite by silicon at the temperature of 1200 °C.

Magnesium alloys

Magnesium alloys are always with manganese, which improves their corrosion resistance and its combustibility.

Electron Mg+3-10%Al+Zn+Mn.

- Density 1.8kg /dm³.

Good fire protection is necessary when machining magnesium, as there is a high risk of combustion, especially when there is dust from its sanding.

Mg alloys are easy to machine, the highest machining speed is chosen

4.17. Titanium – Ti

- Density 4,5kg/dm³
- Mechanical properties similar to steel.
- Non-magnetic
- High corrosion-resistance.
- Resistant to acids and lye.
- Easy to weld using arc welding and resistance welding.
- Machining is not very easy.
- Treated by forging, rolling into forgings, rolled steel and sheets.
- Good mechanical properties of titanium and its alloys.
- Widely used in air industry, health care (mostly bone substitute)
- One of the disadvantages is its high price. Titanium is a very important alloying element in steel production. The strength of titanium alloys is higher than the strength of pure titanium.

Titanium alloys

α alloys always contain aluminium (up to 8 %). Another alloying element is Sn. They are very easy to weld. By forging, e.g. steam turbines blades are made of them.

B alloys contain aluminium and other elements, such as **Cr, V, W, Mo**, etc. After curing, the strength of these alloys is up to 1150MPa. They are used for producing engine components, in air and pharmaceutical industry.

4.18. Special alloys of non-ferrous metals

These alloys are used for production of plain (or sliding) bearings (their sliding part) – for production of linings, pouring of sliding bearings ladles and for production of solders.

There are two types of alloys used for production of sliding bearings – **refractory and easy to melt alloys**.

Refractory alloys include tin bronze, lead bronze, lead bronze and many others. They are used for production of sliding bearings and other purposes.

Alloys used only for production of sliding bearings are called compositions. Compositions are alloys of non-ferrous metals, where the basic component is either tin or lead. Those are alloys with a very good sliding friction coefficient.

Tin compositions – the basic component is tin (85%) and other metals, such as antimony Sb, up to 10%, and Cu.

Lead compositions – lead as the basic component (75%) and antimony up to 15 % and tin to 10 %

Solder is a non-ferrous metal alloy used as additive material used for material soldering.

According to the melt temperature, soldering and solders are classified into:

- Solder with melting temperature to 500 °C - **soft solder**.
- Solder with melting temperature over 500 °C (approx. to 950 °C) - **hard solder**.

Soft solder is tin - lead alloy, tin – zinc or also copper alloy, lead – copper – silver alloy, etc.

- Sn40Pb with melting temperature 185-225 °C
- Sn70Zn with melting temperature 200-320 °C.

Hard solder

- **brass solder** – used for soldering steel, copper, **silver solder** – used for soldering copper, bronze and connections in electrical engineering.

- Ag45CuZn with melting temperature 680-740 °C
- Ag28CuZnMnNi with melting temperature 680-860 °C.

5. Powder metallurgy

5.1. History

- Making tools and guns e.g. of some African tribes.
- Processing consisted in grinding ore and removing gangue.
- It turned into sponge iron after mixing it with wood charcoal in a special furnace.
- After its re-grinding and refining, the powder sintered in a closed clay pot.
- 19th century in Russia – coining money from platinum (sponge platinum used)

5.2. Reasons for powder metallurgy

- Powder metallurgy enables to make products with special properties (e.g. heat resistant, abrasion resistant, etc.).
- Products with high porosity and products representing transition to composites which cannot be produced using other technologies.
- Powder metallurgy includes both powders producing and their densification (usually by means of pressing and sintering) into construction materials or parts.

5.3. Powders

- **Powders** are characterized by physical (distribution and size of particles, shape and morphology of surface, hardness, etc.) and technological properties (compressibility, liquidity, volume, etc.).
- There can be different powder shapes depending on the production method: ball, flake, irregular, rounded grains, etc.).
- Powders can be produced using physical, physical-chemical, chemical, or electro-chemical methods.
- From economic point of view, the most important factor is powder price.
- Suitably modified powders are generally compressed into a required shape; the obtained shape is then processed by sintering so that the necessary physical and

mechanical properties are achieved.

- The biggest advantage of powder technology is the use of metal with lower energy consumption, labor and costs, clean environment. Another advantage is the isotropy of mechanical properties.

Production process of powder metallurgy

Production process consists of several stages:

- Powder production
- Powder modification
- pressing
- sintering of powder pressings
- finishing products

5.4. Using powder metallurgy technology

This technology is used when

- it is not possible to process the given materials using a different technology, e.g. in joining components that do not merge
- this technology is more economic than the others, e.g. in processing materials with a high melting point or in series production of small components
- this technology shows better results than the other technologies, e.g. when there are high demands for materials purity, exact chemical composition or the requirement for special structure (porosity).

Powder metallurgy disadvantages

- lower density and the related strength and toughness of the materials produced
- high price of machines.

Densification of Metal Powders

- The size of the contact surface of powder metal particles depends on the degree and the quality of bond between the individual particles – on the degree of consolidation.

- For a fully consolidated body, all powder particles are in full contact all over its surface (as in the case of solid bodies); however, in loose state, the particles touch each other only in a small part of the overall surface of all particles.
- The values of physical and mechanical properties increase depending on increasing the contact surface of the particles.
- The degree of powder body consolidation is usually increased by compressive forces acting or sintering, in most cases by both methods

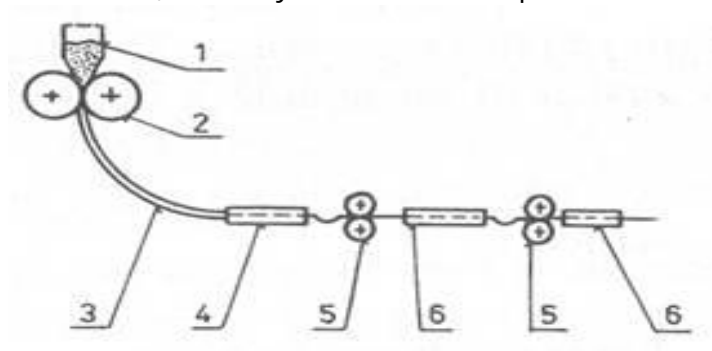
Pressing

- The powder metals body has a volume of both solid particles and gaps (pores).
- The volume of pores depends on the method of pressing and the magnitude of pressing pressure. In compressing the powder in the tool cavity, both external (between the powder material and the wall of the pressing mold cavity) and internal friction (friction between particles) are acting.
- Friction, which can be reduced by using lubricants, results in uneven distribution of the density in the pressing.
- By the direction of the pressure, pressing is divided into unilateral, bilateral and isostatic.
- In the case of unilateral pressing, the highest density is in the area below the punch, in the case of bilateral pressing, the lowest density is in the centre of the pressing.
- In the case of isostatic pressing, the external friction is eliminated and the product shows even density.
- Sintering.
- Pressing and sintering can be repeated several times in order to reduce the porosity.
- Pressing pressure ranges between 50 - 1800 MPa, its porosity is 50 - 8 %.

- Mechanical or hydraulic presses are used for pressing

Rolling

- Rolling is used to produce semi-finished products in the form of belts, bars, sheets, etc. The powder is smoothly supplied from the feeder into the gap between the cylinders, where it is carried by friction forces and compressed by the pressure of cylinders. The principle is shown in the figure. Relatively strong and flexible belt is lead to sintering furnace. Rolling and sintering can be repeated several times according to the required density. By a suitable hopper construction, multi-layer semi-finished products can be manufactured.



*Diagram of semi-finished products manufacturing by rolling metal powders
1 - hopper, 2 - two-cylinder component, 3 - slide, 4 - sintering furnace, 5 - two-cylinder component, 6 - annealing furnace*

Forging

- Forging is used to achieve better mechanical properties and eliminating residual porosity.
- The initial semi-finished product can be either pressing which sinters during the heating to the forming temperature, or semi-finished sintered product, which can be forged directly after its removal from the sintering furnace.
- Free forging is used mainly for large semi-finished products, die forging for product with high precision demands. Relatively small deformations are chosen.

5.5. Special consolidation methods

- Hot pressing, which includes both pressing and sintering, enables to achieve full density of pressings.
- Powder is pressed at relatively low pressure at temperatures almost 2500 °C in

controlled atmosphere, vacuum, or air.

- Isostatic cold pressing is suitable for complex products. The vibration compacted powder is closed in a thin elastic shell and exposed to a gradual hydrostatic pressure of the fluid (up to 600 MPa).
- The advantage is high density and isotropic properties. Isostatic heat pressing is suitable to achieve non-porous state.
- The powder in metal container is subjected to pressure and temperature acting. As the pressure medium, argon is used.
- Hot pressing is used mainly for AL, Mg, Ag, etc.
- In special cases, hydro-impulsive pressing, magnetic field pressing, explosive pressing, injection molding, extrusion, casting, freezing casting, technology of very high pressure, etc. can be used.

Sintering

- Sintering is a method of heat processing of densified particles or powder pressing, during which the porous pressing turns into a compact body under the influence of temperature and pressure.
- The overall contact area of the particles is increased, porosity is reduced, physical and mechanical properties are improved, volume shrinkage occurs.
- Sintering temperature ranges between 0.6 – 0.9 of melting temperature.
- Sintering can take place under normal pressure or under external forces acting. Sintering occurs in electric furnaces with controlled atmosphere (reduction or inert gases, vacuum).
- The most important sintering parameters are temperature, sintering time, and controlled atmosphere.

6. Thermal treatment

6.1. Purpose and basic classification of thermal treatment methods

By proper use of metal and alloys properties, it is possible e.g. to reduce a machine or machinery weight, or to use cheaper materials. Both results in increasing the economy of production.

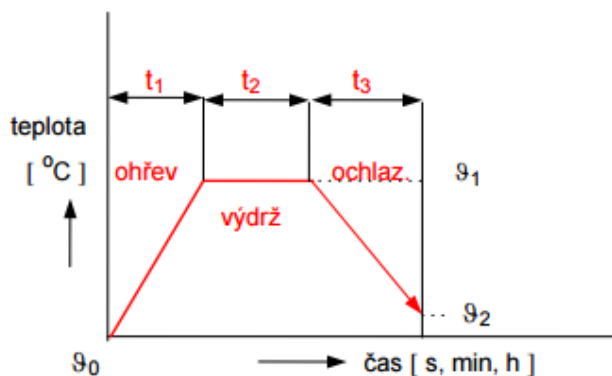
Thermal treatment includes all processes in which an object or material in its solid state is heated and cooled in a certain way in order to achieve desired properties.

It always includes the following processes:

- heating to a certain temperature
- maintaining this temperature
- cooling to a given temperature at certain speed

In some cases, these processes can be repeated several times under different conditions.

The cooling or heating speed is given at high speed in °C/s, at low speed in °C/min, or °C/h.



Legend: teplota – temperature, ohřev – heating, výdrž – maintaining the temperature, ochlaz. – cooling, čas – time

Although both speeds are not uniform (they depend on instantaneous temperature gradient), we mostly consider average speed, which is calculated as follows:

a) při ohřevu

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$$

b) při ochlazování

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{t_3}$$

kde: ϑ_0 je výchozí teplota před ohřevem

ϑ_1 je teplota ohřevu

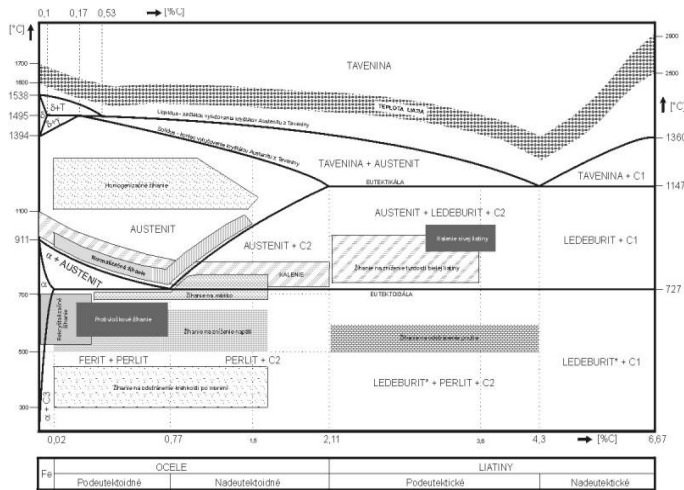
ϑ_2 je požadovaná teplota na konci ochlazování

Legend: při ohřevu – in heating, při ochlazování – in cooling, kde – where, výchozí teplota před ohřevem – starting temperature before heating, teplota ohřevu – heating temperature, požadovaná teplota na konci ochlazování – required temperature after cooling

Thermal treatment influences mechanical properties, such as strength, hardness, ductility, notch toughness, wear resistance, etc. In many cases, changes in structure occur; therefore knowledge of equilibrium diagrams and phase changes is required.

Since the equilibrium in phase changes in the solid state is completely determined by diffusion, for the result of thermal treatment it will be important what effect the diffusion will have. The course of diffusion is influenced both by temperature and the duration (period of time) at which the temperature is maintained. By the way of influencing diffusion, thermal treatment is divided into two basic groups:

- Thermal treatment methods enhancing the diffusion or hindering it just slightly. These methods are generally called annealing.
- Thermal treatment methods hindering significantly or stopping the diffusion completely. The non-equilibrium state of the alloy is generally the greater the higher the cooling speed is. The main method is quenching.



6.2. Annealing

The objective of annealing is mostly:

- To reduce residual stress,
- To eliminate the consequences of preceding mechanical processing,
- To improve technological properties (cold-forming, machining),
- To lower chemical and structural heterogeneity.

The decisive technological parameter of annealing is the temperature and the time at the temperature when cooling is very slow. The annealing temperatures of the individual procedures result from the equilibrium diagram of Fe-Fe₃C.

All types of annealing can be divided by the annealing temperature:

Annealing to reduce residual stress. The purpose is to reduce internal stress in the material during the casting solidification, cooling after cold and hot-forming, and in surface layers after chip machining. At the annealing temperature of 450 - 650 °C the yield strength is so low that the residual stress can be reduced by local plastic deformation. Depending on the size, shape and material, 2 - 10h remaining at the temperature with slow cooling is necessary to prevent new residual stress.

Recrystallization annealing

It mostly refers to intermediate annealing in cold-forming of low-carbon steel, which removes the hardening and regenerates malleability and ductility. This is done by means

of its heating to the temperature of recrystallization (550 – 700 °C), with a duration of 1 – 5 hours. Using this method, it is possible to change significantly the shape and size of grain. The purpose of annealing is usually to refine the grain.

Soft annealing

The surface tension causes spheroidization of eutectoid carbide particles. By changing lamellar perlite to grain perlite, it is possible to improve cold-forming possibility in low-carbon steel and machining possibility in steel with the C content over 0.4 %. Also, annealing enables to prepare a suitable initial structure for subsequent quenching, especially in the case of eutectoid and over-eutectoid steel. The uniform distribution of granular carbides in basic ferritic mass facilitates the subsequent austenitization and improves the general properties after quenching, which is successfully used especially in the case of bearing steels. The annealing temperature is close to eutectoid temperature.

Increasing the temperature above Ac1 or its fluctuation around this temperature facilitates and accelerates balling of carbide particles. The annealing time differs based on the type of the steel and on the previous heat treatment, ranging from 4 h for carbon steel to 16 h for high alloy steels. Annealing is finished by slow cooling in the furnace.

Anti-flake annealing

It is applied at supercritical hydrogen content in steel, when steel is susceptible to creation of internal cracks – flakes. Creation of flakes can be prevented by long-term heating (up to tens of hours) at the temperatures of 650 – 750 °C, where as the result of a significant increase of hydrogen diffusivity in ferrite, its content decreases under the critical value. Annealing must be performed immediately after casting or hot forming (before its cooling to the temperature of the ambient temperature), when the hydrogen present does not create molecules which are not capable of diffusion and thus of removing from steel. After remaining at the annealing temperature for a long time, it is advisable to cool to at least 500 °C very slowly.

Annealing to remove brittleness after pickling

When removing skinning by means of pickling, in steel components, there is diffusion of hydrogen in the metal and subsequently hydrogen fragility. Since during the pickling, hydrogen penetration into steel is limited, hydrogen can be easily removed by annealing at temperature between 300 °C and 500 °C for 1 - 4 h

Normalization

It is one of the most widely used methods of steel heat treatment, as it ensures fine-grained and even structure after casting, forming, or long-term annealing at high temperatures. The classical procedure is used only for sub-eutectoid steels, when at a temperature of 30 – 50 °C and duration of 1 – 4 hours, a fine uniform austenitic structure is formed that after cooling transforms into fine-grained ferritic-perlitic structure with favorable mechanical properties. Exceptionally, it is applied in the case of over-eutectoid steels in order to achieve a better re-distribution of secondary cementite particles that was removed at grain boundaries in the form of grids as a result of slow cooling. By heating to the temperature above A_{cm} , carbide meshes are dissolved in austenite and by its rapid cooling its repeated removing is prevented at grain boundaries.

Homogenizing annealing

It lowers non-homogeneity of the chemical composition of thick-walled castings in which significant dendritic segregation occurred. Long-term annealing at temperatures ranging from 1 100 to 1 200 °C (usually about 200 °C below solidus) causes sufficient diffusion speed of carbon and other elements to reduce segregation and unwanted heterogeneity. Remaining at the temperature depends on the size and thickness of the casting, usually resulting in a significant grain roughness, which requires subsequent normalization annealing.

Solution annealing

This type of annealing is used to dissolve carbides, nitrides and other inter-metallic phases, which increases the homogeneity of austenite and its saturation with alloying elements. It is most often used at high alloy austenite steels, where a pure austenite structure is obtained by annealing at temperatures of 1 050 - 1 150 °C with subsequent fast cooling that prevents repeated elimination of phases.

Isothermal annealing

By combining three types of annealing (normalization, soft, reducing internal stress) in one operation, it is possible to achieve more homogeneous fine-grained structure with improved machining. The process starts with normalization, after which the steel is cooled by a stream of air to the temperature of 700 - 650 °C, at which in isothermal de-

lay the splitting of metastable austenite into fine spheroidized perlite occurs. Remaining at the temperature results from the knowledge of the IRA diagram for the relevant steel class. Finally, it is cooled by the air. The process is suitable for some kinds of medium-alloy steel that are difficult to soft anneal.

6.3. Quenching

The objective of quenching is to improve the hardness, strength and wear-resistance of steel. These properties are typical for partly or entirely non-equilibrium structures which can be obtained by cooling austenite at overcritical speed. Depending on the phase prevailing in the resulting structures, there is martensitic or bainitic quenching.

An important process parameter is the quenching temperature, at which steel is austenitized before cooling. The proper quenching temperature for sub-eutectoid steels is about 30 - 50 °C over AC_3 , where it ensures the homogeneous structure of austenite before decomposition. For super-eutectoid steels, the adequate temperature is only about 20 °C above AC_1 , where the initial structure consists of a heterogeneous structure of austenite and undissolved carbides that increase the wear-resistance after quenching. Improper quenching temperature results in increasing unwanted phases in the final structure (ferrite) or to thickening of grain, which may result in quenching cracks.

Quenchability is steel ability to achieve unbalanced state by austenitizing temperature lowering.

Quenching ability is determined by its maximum hardness after quenching; it depends on the carbon content in austenite. The resulting hardness is also affected by the quenching temperature, especially in the case of super-eutectoid steels.

Types of quenching

- **Basic quenching** is the simplest process. The temperature decreases steadily under M_S , when the austenite transformation into martensite starts. High residual stress and maximum deformations arise, therefore this type is not suitable for quenching products of complex shape.
- **Discontinuous quenching** starts with supercritical speed in order to support per-

litic transformation (e.g. in water) and continuous with cooling in moderate ambient (e.g. oil). This way the difference between the temperature on the surface and inside the product as well as thermal stress is reduced.

- **Isothermal quenching** is similar to thermal quenching, with the dwelling time in the bainitic transformation lasts until isothermal austenite decomposition is finished. Thermal and structural stress is minimal, there is no risk of deformation and cracks. The oldest isothermal quenching method is patenting used for production of high-strength wires.
- **Thermal quenching** enables to balance temperatures in the whole volume of the product quenched. It reduces the stress and deformation due to dwelling over the M_S temperature. Cooling in the interval of martensitic transformation usually takes place in the air. The process is suitable for thin-walled steel products of complex shapes, whose bainitic area is shifted on the left.
- **Grain quenching by freezing** requires additional cooling in liquid nitrogen freezing baths that should prevent the stabilization of RA (residual austenite) for steels with low M_S and M_f temperatures. It is applied to the products working at temperatures below zero, measurement tools, and bearing steel, where the shape stability is required.
- **Continuous bainitic quenching** is used for steels with bainitic area on the left. The resulting composition consists of bainite, martensite and residual austenite.

6.4. Tempering

Tempering is a steel heat treatment method usually following quenching. By heating quenched steel to temperatures not exceeding A_{C1} , martensite decomposition and transformation of residual austenite occurs. The changes of structure and resulting changes of mechanical properties depend mainly on the tempering temperature. From technology point of view, we distinguish between:

- Tempering at low temperatures (to 300 - 350 °C), which lowers the residual stress after quenching, reduces the RA content and stabilizes dimensions.
- Tempering at higher temperatures (above 450 °C), at which a complete decom-

position of martensite occurs, which is shown by marked decrease of hardness and strength, but also by increase in plasticity and toughness.

TECHNOLOGY OF DIE CASTING OF METALS

1. Die casting characteristics

1.1. The principle of die casting

Die-casting is a foundry industry technology in which molten metal is transported by high speed and pressure from the shot chamber into the blocker where the final casting solidifies.

The speed of the piston forcing the liquid alloy up and down operates in m/s. The liquid alloy is in this way transported from the shot chamber to the blocker by a gating system. The transition between the gating system and blocker constitutes a notching. The speed of the liquid alloy flow increases to several tens of metres per second in the notching. The high speed of the flow enables the liquid alloy to fill the shot chamber in the time that is equal to units or tens of milliseconds. This method of cavity filling enables the production of thin-walled, complex-shape castings with a high-dimensional accuracy and with a precise copies of the superficial relief of the mold cavity.

1.2. Technical and economic aspects of die casting

Advantages

- A possible production of castings in short intervals,
- A large number of castings produced from one mold
- A possible production of complex-shape and thin-walled castings
- A smooth surface of castings
- A low waste production and, therefore, lower costs of the input material
- Possible pre-die casting of openings of small diameters with low machining
- Light casting of inserts from other metals or materials
- A fine-grained structure of castings ensures good mechanical properties.

Disadvantages

- High costs of mold manufacturing,
- Enormous investment in machines and relevant devices,
- The maximum size of castings is limited by the size of the respective machine
- Die-cast alloys are less ductile.
- Castings are porous to some extent; however, their porosity may be limited,
- Die-casting technology requires previous professional experience; therefore, it requires a qualified staff

2. Die-casting machines

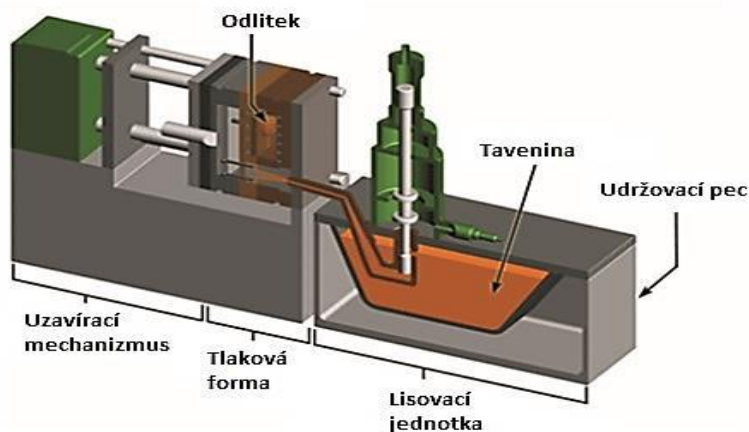
Die-casting of metals is carried out on die-casting machines that are from the technological point of view divided into:

- Hot-chamber die-casting machines:
 - Piston-based
 - Air-based
- Cold-chamber die-casting machines:
 - With vertical die equipment
 - With horizontal die equipment

2.1. Hot-chamber die casting

Low-melting-point alloys i.e. tin, lead and zinc alloys are processed in hot-chamber machines. When using this type of machines, the furnace constitutes an integral part of the machine and molten metal is directly forced out of the cup into the mold by a piston or air-based compression molding 2 – 7 MPa. In both cases the chamber gets narrow in the goose neck and ends up with a nozzle. This nozzle is pressed to the fixed die half, i.e. its opening. The piston in its upper, default position does not overlap the inlet hole of the chamber and the molten metal flows through this inlet hole from the cup to the chamber. Molten metal is pressed through the nozzle into the mold. Then follows a time period which lasts a few seconds and within which the metal in the mold cavity solidifies to a casting. After this time period the piston goes back to its default position while the chamber inlet hole re-opens. The chamber is simultaneously filled by another portion of molten metal and liquid metal from the goose neck. The movable die half, which also takes over the casting, opens within this activity. The casting is released from the grasp of the clamps and a service attendant takes it by pliers or another tool and puts it down on a palette. If the mold is open, its cavity is sprayed with a lubricant. Then closing of the mold follows and the device goes back to its default position and the whole cycle

repeats.



Hot-chamber die-casting machine

Upper row from left to right: casting, molten metal, furnace

Lower row from left to right: clamping unit, die assembly, injection unit

2.2. Cold-chamber die-casting

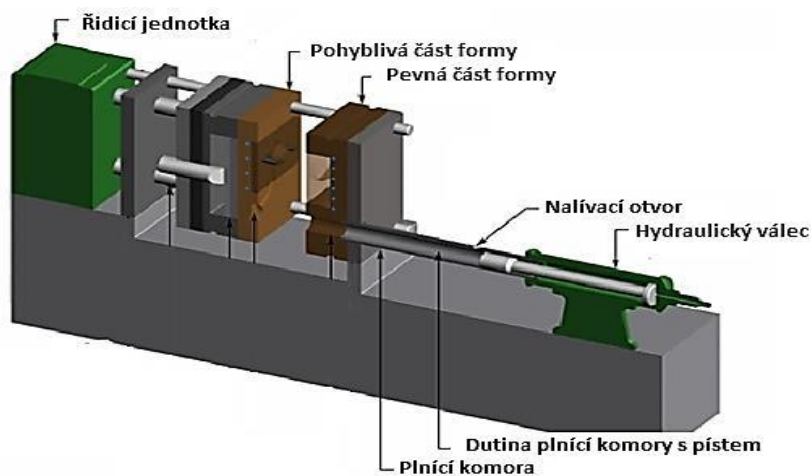
High-melting-point alloys, i.e. aluminium, magnesium, brass and iron alloys are processed in cold-chamber die-casting machines. In this case, the furnace with molten metal is not a part of the machine. Instead, it is separate and molten metal is injected into the machine chamber before the compression molding process takes place.

Vertical cold chamber die-casting machines

They consist of a vertical-positioned cylinder, nozzle, hydraulic piston and a bottom piston with a spring. The piston is in its default position, i.e. it overlaps from over the chamber to which liquid metal is poured. The hydraulic piston moves down and causes that molten metal is pressed by the bottom piston which means that the nozzle is exposed and liquid metal is run through it to the mold cavity. Then follows a time period in which metal in the mold cavity solidifies. After the metal has solidified, the hydraulic piston goes back to its default position. The force of the compressed spring that is placed under the bottom piston causes that the piston moves, clips the metal plates which arise from metal solidification in the chamber and throws the plates out of the chamber. Then the chamber opens, the casting is thrown out and, eventually, the mold cavity is sprayed with a lubricant. The mold cavity closes and the cycle repeats.

Die-casting machines with a horizontal cold chamber

The process is based on the following principle: the chamber in its horizontal position has a pouring hole into which molten metal is poured. A hydraulic piston moves in this chamber. The inner hole of the shot chamber should run through the fixed die half as far as the dividing plane is situated. When the metal is being poured, the hydraulic piston is in its back position in order for the pouring hole to be released. The movement of the piston forces the molten metal out into the mold cavity. After the compression molding process has been finished, the mold cavity starts to open while the piston pushes the metal plate out of the shot chamber. After the opening has been finished, the piston returns to its back position. When the mold cavity is open, the casting is removed and the cavity is sprayed with a lubricant. Then the cavity closes and the cycle repeats.



Horizontal cold-chamber die-casting machine

Upper row from left to right: clamping unit, movable die half, fixed die half, pouring hole, hydraulic cylinder

Lower row from left to right: shot chamber, shot sleeve

3. Main construction nodes of die-casting machines

Die-casting machines must be able to perform:

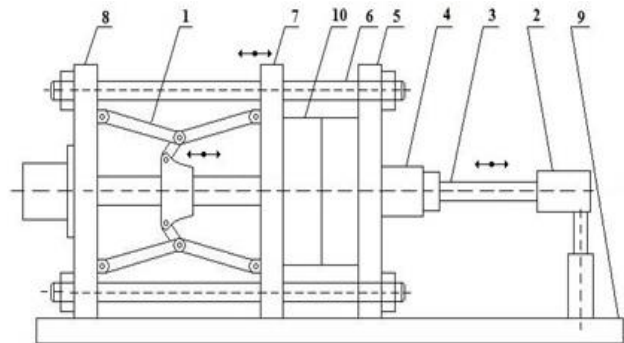
- Safe closing of the mold
- Compression molding of metal
- Solidification of castings
- Opening of the mold
- Removal of cores
- Removal of castings from the mold

In order to carry out these operations safely, die-casting machines are composed of these main parts:

- Machine fuel
- Clamping unit
- Compression molding mechanism
- Machine frame
- Hydraulic grids
- Machine bonnet
- Control system

Main construction nodes of horizontal cold-chamber die-casting machines

1. Clamping unit
2. Compression molding mechanism
3. Compression molding piston with cylinder
4. Shot chamber
5. Front clamp
6. Guide rod
7. Movable clamp
8. Back clamp
9. Stationary section
10. Mold

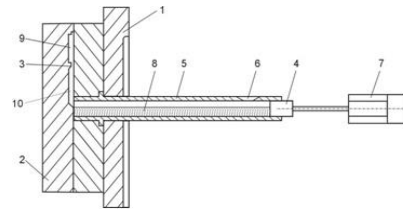


3.1. Compression molding mechanism

Its main task is to deliver molten metal into a mold cavity at a highly specified speed

within the solidification period while applying high pressure

1. front clamp
2. mold
3. inlet notching
4. hydraulic piston
5. shot chamber
6. pouring hole
7. hydraulic cylinder
8. liquid metal
9. mold cavity
10. sprue



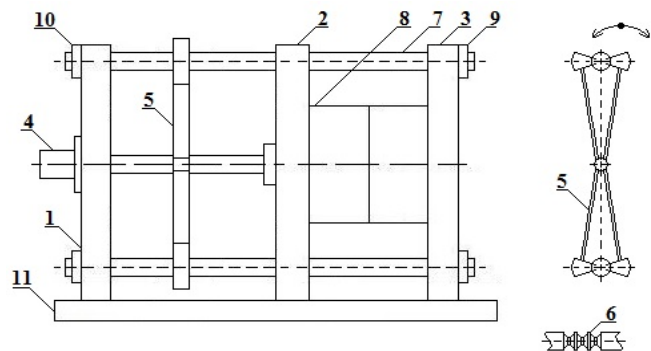
3.2. Clamping units

In regard to the construction design clamping units are divided into:

- hydraulic clamping unit
- mechanical clamping unit
- hydraulic-mechanical clamping unit
- electric clamping unit

Hydraulic-mechanical clamping units

1. back clamp
2. movable clamp
3. front clamp
4. rectilinear hydraulic motor
5. rotating clamps with modelled projections
6. notching rods
7. rod
8. mold
9. front nut
10. back nut
11. stationary section



Closing of the mold is carried out by weak-force traveling of the hydraulic cylinder. Safe closing and fastening of the mold is carried out by two rotating clamps and shape projections that fit in notching rods.

3.3. Die-casting machine fuel

Die-casting machines use hydraulic fuel. Older machines used water steam to generate pressure energy; nowadays, it is mineral oil, i.e. water-based liquid – glycol, that is most commonly used. The fuel is run by a pump operating in a pressure mode up to 4.5 Mpa.

In regard to construction, the pumps are divided as follows:

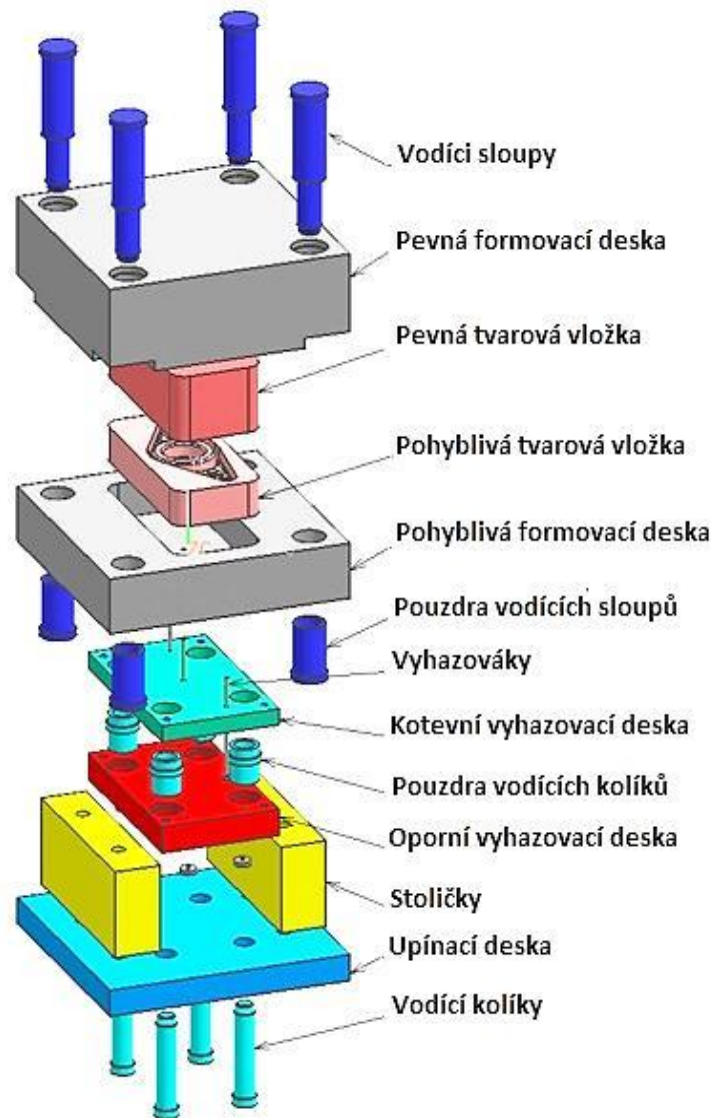
- Piston control pump
- Blade control pump
- Screw control pump

4. Die-casting molds

4.1. Main parts of a mold

The mold is responsible for producing the processed material in the required shape and for cooling it down to such a temperature that makes the casting solid enough to be removed from the mold without its deformation. Molds must be resistant to high pressure, be able to manufacture products with precise dimensions and enable the removal of the casting.

Picture (from up to down): guide rods, fixed die half, fixed modelling insert, movable modelling insert, movable die half, guide rod bushes, ejector pins, core ejector plate, guide bush, core back plate, spacer blocks, clamping plate, guide pins



The mold consists of these main parts:

- components modelling the mold cavity
- cooling, i.e. temperature system
- gating system
- ejection system
- vent system
- Clamping and guiding elements

Basically, main parts of the mold can be divided into construction and functional components. Construction parts are responsible for smooth functioning of the mold and functional ones ensure processing and modelling of the material.

The mold cavity

The mold cavity is vital for smooth functioning of the mold. The mold cavity is identical with the shape of the required casting; however, the mold cavity differs in proportions, which must be higher by one shrinkage value of the material. The mold cavity causes that the material there cools down. In regard to its properties, it would be applicable that the cooling effect should affect all parts of the casting at the equal speed. In order to arrange that, it is necessary to ensure that the temperature area of the cavity is homogenous. The consequence of unequal cooling is the premature solidification of the material in colder places. As a result, these places create a thicker surface layer on the solidified material which means a significant decrease in its cross-section through which the molten material runs into other parts of the cavity. Furthermore, the mold is filled in different places with different technological conditions which results in different properties of the casting in the specific place. The unequal cooling thereby results in inner tension that may damage the final product.

Temperature system

Temperature system means a system of runners and cavities through which a cooling medium runs. This system controls the mold temperature at a designated value.

Temperature system is divided into separate segments that are designed according to the way the casting is modelled in the mold and according to the position of the dividing plane. The design of the deployment of temperature runners and their proportions must consider the overall design of the mold and its deployment must correspond to the equal solidification of the casting throughout its volume. The cross-section of runners is usually circular; however, there are also runners with a rectangular cross-section.

The mold temperature and thermal equilibrium of die-casting molds significantly influences the quality of castings and, also, extends the lifespan of the mold. The cooling system of molds must be designed in the way that prevents defects caused by unfavoura-

ble temperature. Therefore, in regard to temperature system, special runners must be made in the mold. The runner diameter depends on the thickness of the wall of the casting.

Gating system

Gating system is composed of simple or complex runners that connect mold cavities with shot chambers. The gating system controls appropriate filling of the mold cavity, clear separation or removal of the remaining material. The gating system is designed in accordance with mold cavities and their deployment. The sprue extends the flow course of molten metal into the mold which results in reducing the temperature and decreasing the compressive strength. For that reason, when constructing molds, it is necessary to make runners as short as possible and their cross-sections to be as large as possible.

The gating system should be designed in order to meet following requirements:

appropriate filling of the mold cavity

To direct the metal flow in the mold cavity so that its walls do not prematurely wear off.

To limit the local temperature increase, which would result in excessive wearing off and deterioration of the surface cleanness of the casting

To prevent whirlpools in the metal flow as much as possible; whirlpools result in gas production in the casting

The required shape and surface quality of the casting.

Ejection system

Since castings tend to shrink during the cooling process, they remain glued to the modelling parts of the mold cavity; therefore, it is necessary to provide an ejection system to eject the casting. Such a system is usually mechanical, but pneumatic and hydraulic systems can also be used. By and large, different ejection systems are often used in combinations.

Ejection forces are derived from calculations of specific pressure between the mold and casting; furthermore, they can be calculated from thermal dependence on the friction coefficient between both mold halves and from the proportions of the casting.

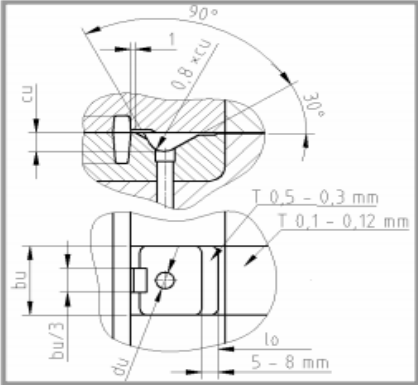
Clamping and guiding elements

These refer to a construction part of machines that provide and ensure that mold parts fit together and that they are movable.

Vent system

To vent a modelling cavity is of a major importance. Since the compression molding pe-

riod is relatively short and the compression molding process runs at a high speed and pressure, it would be impossible for the air in the mold cavity to leak through mold leak-ages in the dividing plane. That would result in an incomplete filling of the mold cavity and in a critical pressure increase in the cavity. It is thereby necessary to ensure that the air is effectivelly drained from the mold cavity by implementing a system of vent channels. However, these channels must not cause burrs occurring on the casting.



5. Methodology of developing gating systems

Design of gating systems of a mold cavity consists of following steps:

Analysis of the liquid metal flow

- Choice of the most suitable place for situating the inlet notching and vent system
- Calculation of the maximum time for mold cavity filling and the metal flow speed in the inlet notching
- Division of the casting into gating part segments
- Determination of the volume of overflows
- Calculation of the total area of the inlet notching and the choice of notching height
- PQ^2 analysis and the closing force of the machine
- Mold cavity filling time and the area of the notching calculated regarding separate segments
- Choice of the notching type, type of the sprue and their shape

Analysis of the liquid metal flow

The ideal shape of a casting allows that liquid metal may flow in the mold cavity through clearly defined and direct paths. However, only rarely is possible to design such an ideal shape to meet these requirements, sprues and notchings in particular. As a matter of fact, real conditions require compromise. Designers should consider not only technological, but also foundry-industry aspect. The process of gating system design requires consulting and discussions with workers who are experienced in the issue of die-casting, and who consider also the practical aspect of the process of designing. As a result, designers need to find an acceptable compromise between the required shape, ideal shape and experts' observations and thereby find the most convenient way of liquid metal flowing. It is mainly this way (method) that determines the position of the inlet notching.

Choice of the most suitable place for the inlet and vent notching

All so-far-known alloys used in foundry industry tend to shrink during the solidification and cooling process. If this issue is not properly tackled, i.e. not considered while designing the mold, final castings will manifest various defects caused by shrinking during the solidification process. These defects will be demonstrated as cavities in the casting (higher porosity) and as hollows of different proportions.

While carrying out sand-casting, gravity die-casting, low-pressure die-casting and investment casting, mold shrinking is set off with a volume of the mold increased by a value that corresponds to the shrink. The result is that the final casting demonstrates required proportional properties even after the shrink. This increase in volume is demon-

strated by so called feeder-heads. Feeder-heads are cone-shaped projections located over the section that is the hardest to access and in which the casting completes its solidification.

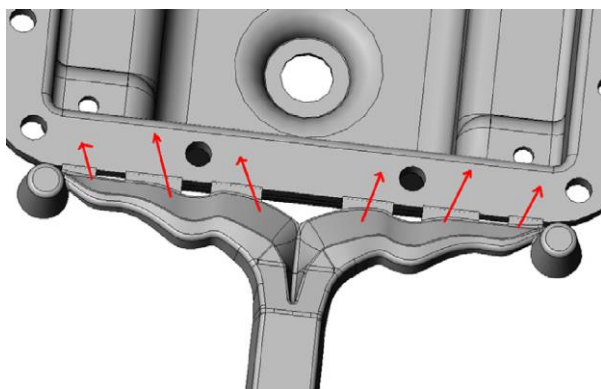
Die-casting is an exception amongst foundry-industry technologies since feeder-heads are not present in the blocker. In fact, the shrink is eliminated by injection; for that reason, it is necessary to design the gating system in the way that molten metal should be able to transmit the pressure at minimal losses as long as possible. Designers must take into account the pressure gradient and processes taking place in the mold cavity from the inlet notching and to exhaustions.

What is convenient and implemented in practice is to design a gating system so that the notching is situated in the dividing plane of the mold while the vent system is situated opposite. An effective solution is to place the sprue and exhaustions so that the liquid metal in the blocker should flow through as-short-as-possible paths.

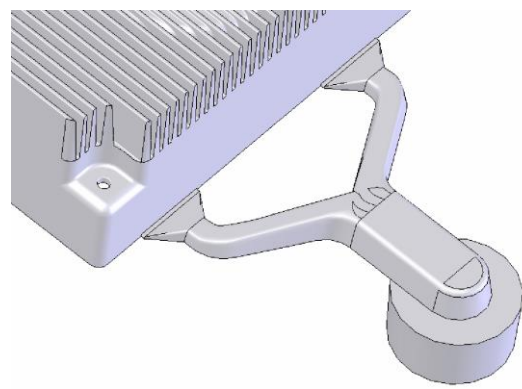
Tangential gating system enables a direct liquid metal flowing, while the fan-shaped inlet mouth allows only small or no possibilities of control.

Both types of gating systems may be used with a multiple or divided sprue. If the casting is divided into several sections with different wall thickness, each section may be provided with a notching.

If possible, when designing a gating system, it is convenient to avoid the situation in which two different flows of injected metal meet before inlet notchings. This situation is highly unfavourable, but it cannot be always avoided. In such a situation, the inlet notching should be placed from the inner part of the casting. The weak points when constructing a central gating system are particularly the absence of multiple cavities and too long a construction of gating systems causes that the speed of liquid metal flow decreases before it has flowed into the mold cavity.



Tangential gating system



Fan-shaped gating system

6. Technological factors of die-casting

The quality of die-cast castings is influenced by a large number of factors. From the construction point of view, it is particularly a good design of the die mold, its gating system, vent system, temperature system and choice of a suitable pressing machine that influences the quality of castings. Moreover, a specific type of die-cast alloy, its metallurgical processing, maintenance, condition and lubrication of mold cavities and, last but not least, machine service also play an important role. A separate group of factors are technological parameters of die-casting. These may be divided into three groups as follows:

- Parameters of the compression molding system
- Temperature parameters of the die-casting process
- Parameters arising from the properties of the liquid alloy

Parameters of the compression molding system

The main task of the compression molding mechanism is transporting and molding the liquid alloy into the mold cavity in accordance with technological parameters in order to enable a smooth and complete filling of the mold cavity. These parameters are as follows:

- Compression molding speed in the shot chamber
- Specific pressure on the liquid alloy and injection
- Time period of mold cavity filling

Temperature parameters of the die-casting process

Temperature parameters significantly influence the liquid alloy from when running through the compression molding machine and the batching period until the casting solidifies and is removed from the mold cavity. These parameters are as follows:

- Temperature of molten alloy
- Temperature in the shot chamber
- Temperature of the mold

Denis McQuail

In 1999, he distinguished four phases of the research of media effects:

- Unlimited power of media (1900 – 1940): a profound influence of media; their contents evoke identical effects in recipients
- Ineffectiveness of media (1940 – 1965): differences between separate personality traits; individualized reception of media contents is to be dealt with
- A new deeply held belief that media have strong effects (1965 – 1980): recipients

adopt an active attitude towards media

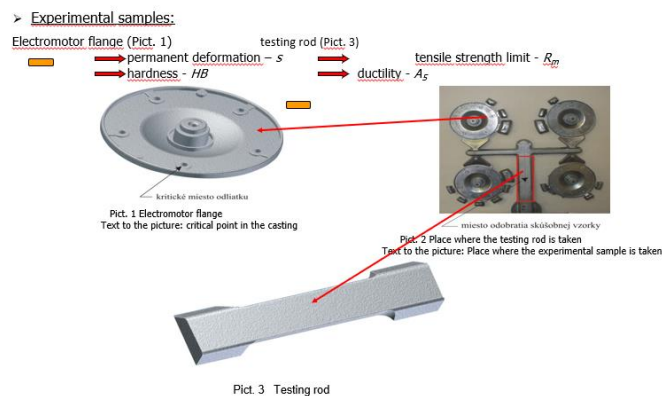
- Transactional ideas about media effects (since 1980): media have achieved a strong position; on the other hand, the same applies to the position of the audience

Parameters arising from properties of liquid alloy

Properties of liquid alloy and the method of its preparation considerably influence the quality of the casting. Basic technological parameters arising from properties of liquid alloy are as follows:

- tendency to gasification
- Tendency to contractions

7. Technological factors influencing mechanical properties of castings



Characteristics of the considered factors:

The influence of two factors was considered based on mechanical properties:

1. factor – speed of the hydraulic piston: $v_1 = 1.9 \text{ m.s}^{-1}$ $v_4 = 2.9 \text{ m.s}^{-1}$
 $v_2 = 2.3 \text{ m.s}^{-1}$ $v_5 = 3.2 \text{ m.s}^{-1}$
 $v_3 = 2.6 \text{ m.s}^{-1}$

2. factor – injection: $p_1 = 13 \text{ MPa}$
 $p_2 = 22 \text{ MPa}$
 $p_3 = 25 \text{ MPa}$

Constant factors: liquid alloy temperature - 708 °C
 temperature of the mold - 199 °C

time period of mold cavity filling - 0.019 s

Analysis of the speed of liquid alloy in the sprue and inlet notching:

Tab. 2 The speed of liquid alloy in the sprue and inlet notching is determined by the continuity equation

Speed of the hydraulic piston [m.s ⁻¹]	Speed of liquid alloy in the sprue [m.s ⁻¹]	Speed of liquid alloy in the inlet notching [m.s ⁻¹]
1.9	14.78	36.58
2.3	17.89	44.28
2.6	20.23	50.05
2.9	22.56	55.83
3.2	24.9	61.60

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES

Evaluation of the tensile strength limit:

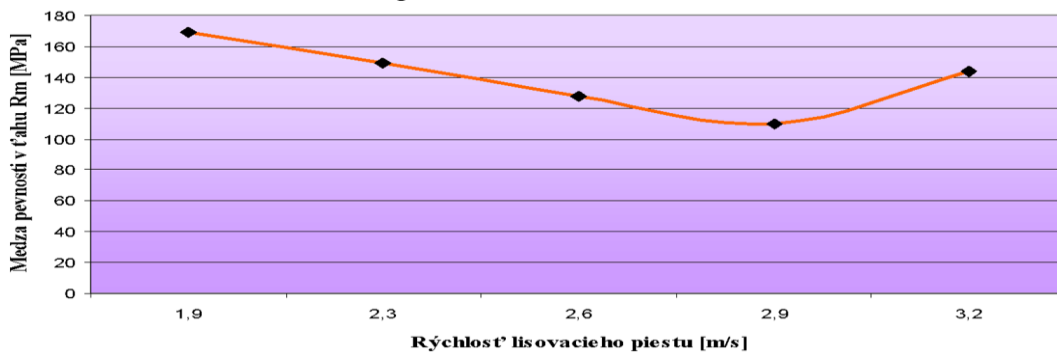


Fig. 4 Dependence of the tensile strength limit R_m on the change in the compression molding speed of the piston
 Vertical text: tensile strength limit R_m MPa
 Horizontal text: speed of the hydraulic piston (m/s)

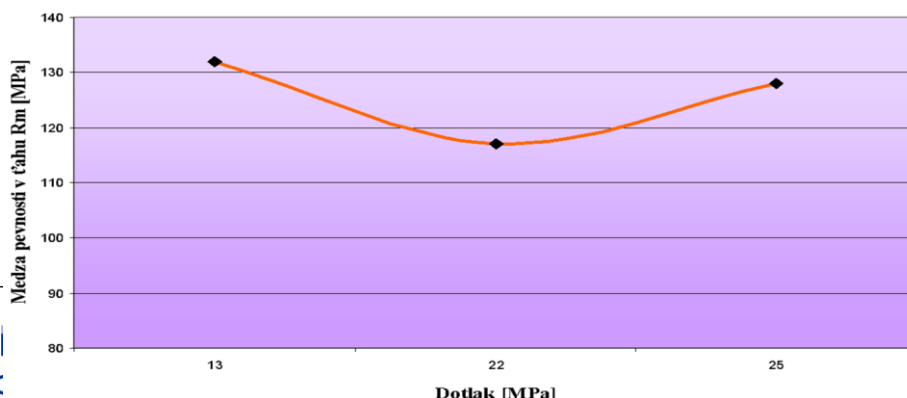


Fig. 5 Dependence of the tensile strength limit R_m on the change in injection
 Vertical text: tensile strength limit R_m Mpa
 Horizontal text: injection

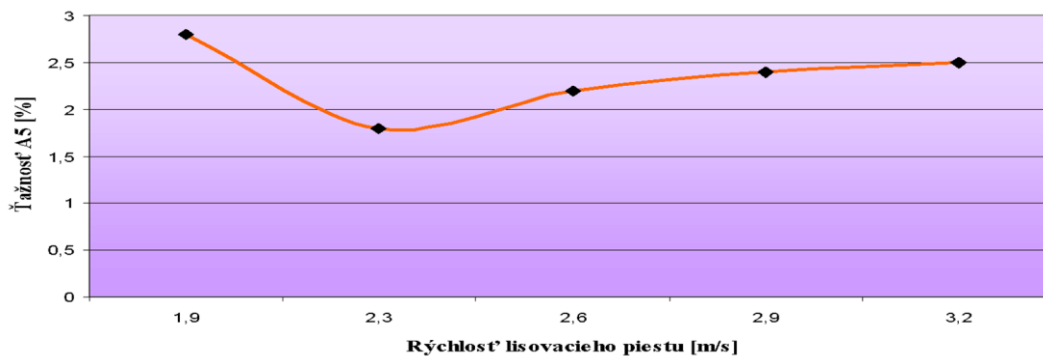


Fig. 6 Dependence of the ductility A_5 on the change in the speed of the hydraulic piston
 Vertical text: ductility A_5 (%)
 Horizontal text: speed of the hydraulic piston (m/s)

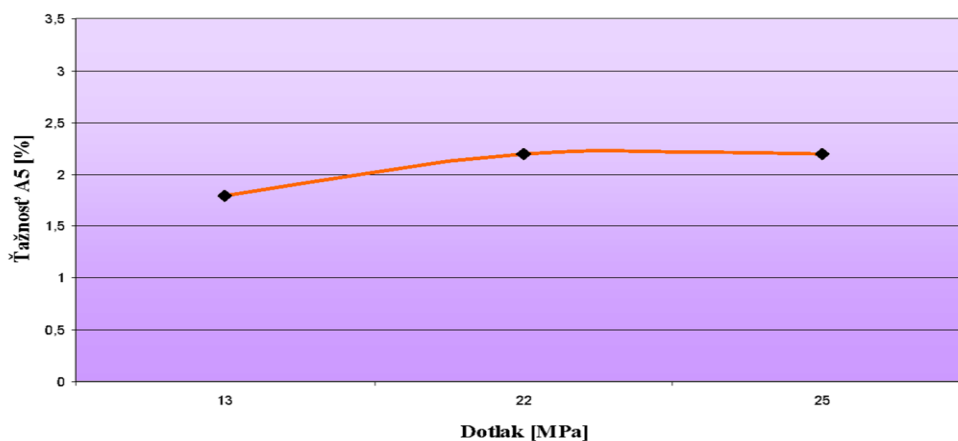


Fig. 7 Dependence of the ductility A_5 on the change in injection
 Vertical text: ductility A_5 (%)
 Horizontal text: injection (Mpa)

Evaluation of hardness:

Carried out according to Brinell on measuring equipment HPO 250 (Pict. 8)

measuring conditions:

- marble diameter $D = 2.5 \text{ mm}$
- load force $F = 613 \text{ N}$
- load time $t = 10 \text{ s}$



Fig. 8 Measuring equipment HPO 250

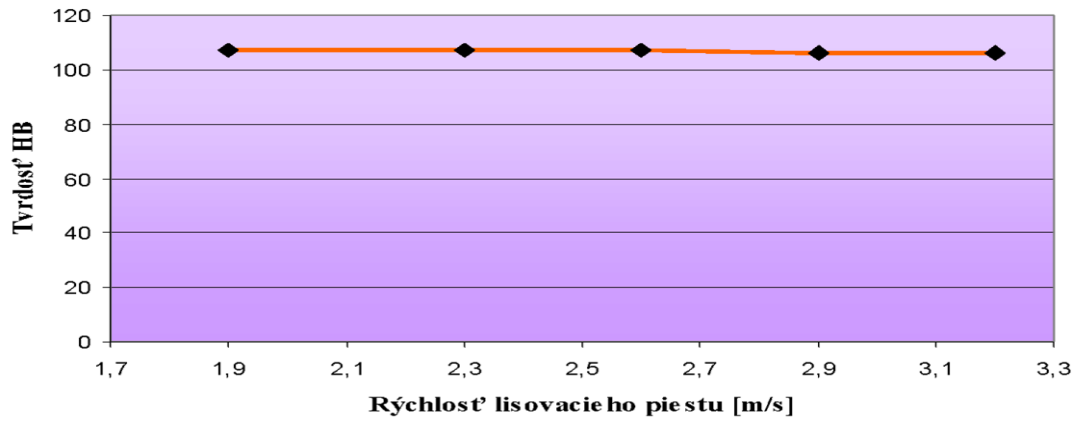


Fig.9 Dependence of the hardness HB on the change in the hydraulic piston speed

Vertical text: hardness HB

Horizontal text: hydraulic piston speed (m/s)

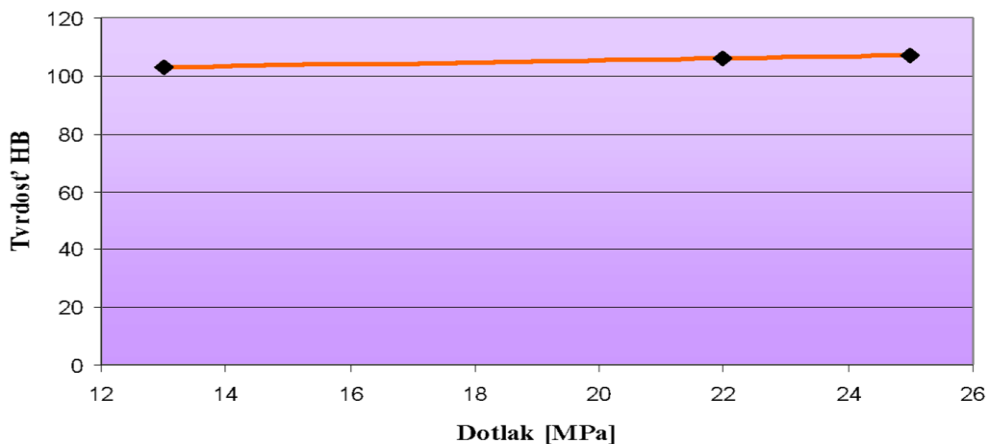


Fig. 10 Dependence of the hardness HB on the change in injection

Vertical text: hardness HB

Horizontal text: injection (MPa)

Evaluation of permanent deformation

Static test in pressure was measured on equipment TIRAtest 28200 (Pict.11).



Fig. 11 Measuring equipment TIRAtest 28200 in the casting

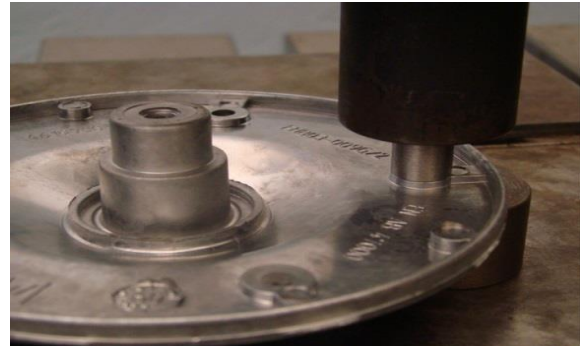


Fig. 12 Loading of the testing place in the casting

Measuring conditions:

- load force $F_a = 16 \text{ kN}$
- force after relief $F_m = 8 \text{ kN}$
- load speed $v = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

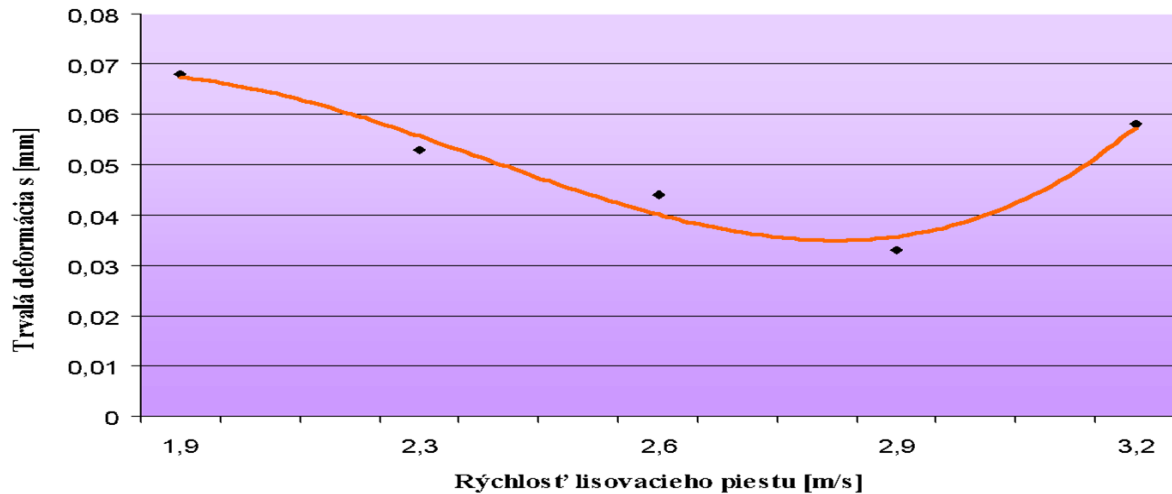


Fig. 13 Dependence of the permanent deformation s on the change in the hydraulic piston speed

Vertical text: permanent deformation

Horizontal text: hydraulic piston speed (m/s)

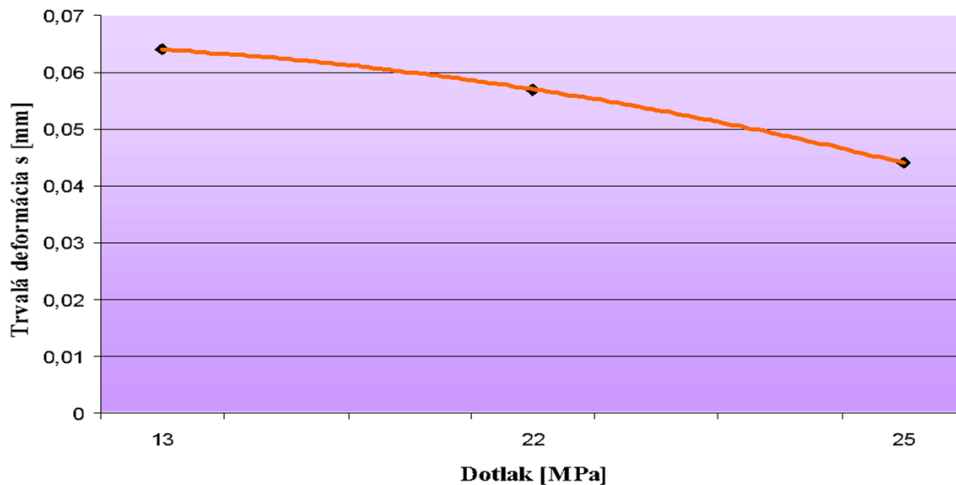


Fig. 14 Dependence of the permanent deformation s on the change in injection
 Vertical text: permanent deformation
 Horizontal text: injection (MPa)

ANALYSIS OF THE INNER HOMOGENEITY

Inner homogeneity in castings occurred in selected castings on places where permanent deformation had been measured in order to compare received results of the permanent deformation with X-ray images – equipment RTG VX1000D.

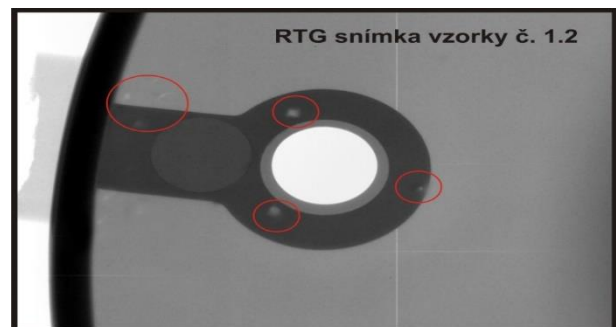


Fig. 15 X-ray image sample No. 4.2, $v = 2.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ Fig. 16 X-ray image sample No. 1.2, $v = 1.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

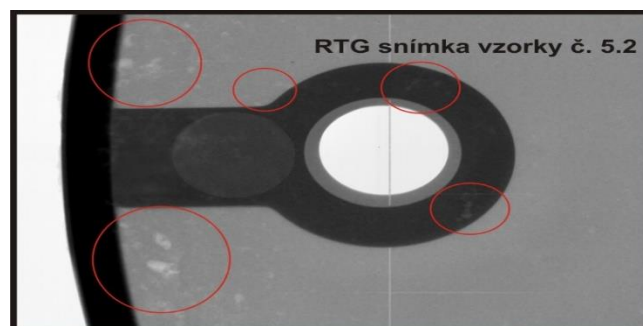
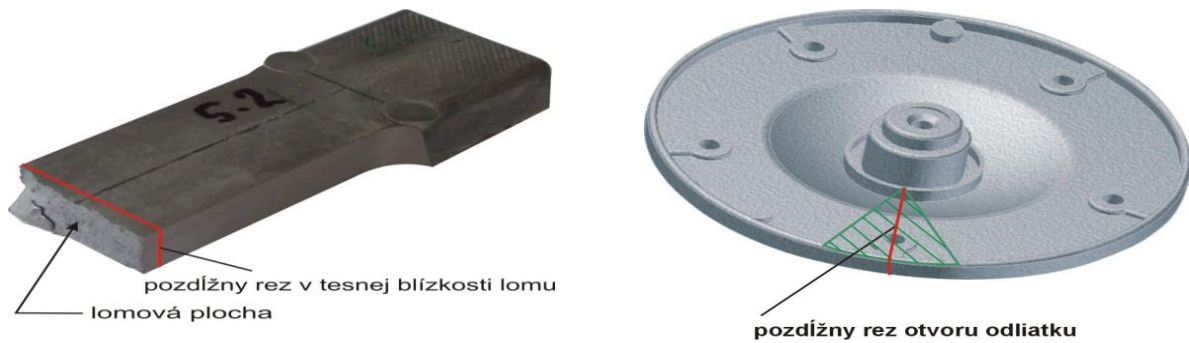


Fig. 17 X-ray image sample No. 5.2, $v = 3.2 \text{ m.s}^{-1}$

MACRO AND MICROSKOPIC ANALYSIS

Microscopic and metallographic analysis was applied for the purpose of the examination of the inhomogeneity of mechanical qualities.



The oblong cut in the close proximity of fracture casting

The space of fracture for the

Fig. 18 The scheme of sampling for the evaluation of the porosity of testing bar

The oblong cut of the hole of

Fig. 19 The scheme of sampling evaluation of the porosity of

The analysis of the porosity of the metallographic cuts obtained from the samples was carried out in the OLYMPUS GX51 microscope at the rate of zoom of 100 and it was processed by the ImageJ computer program (Fig. 20).

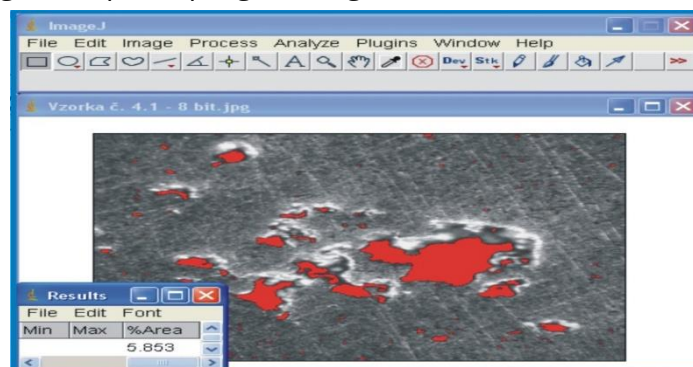
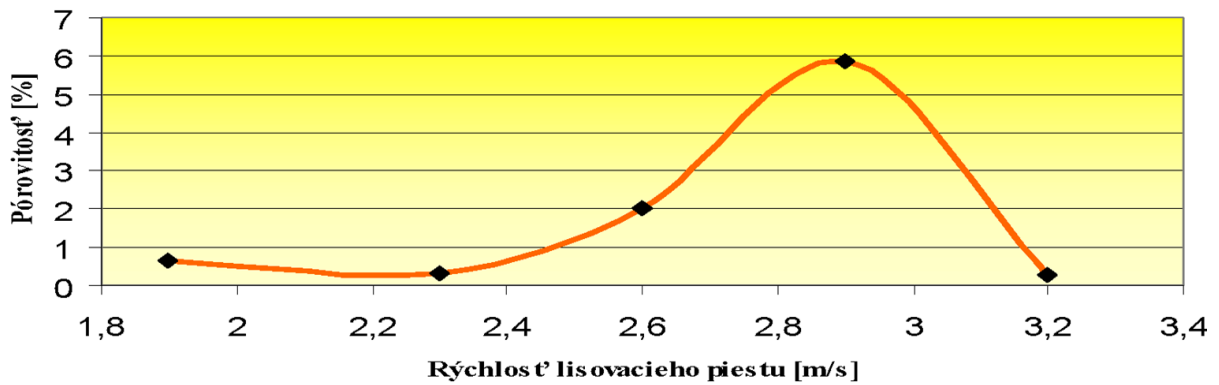


Fig. 20 Computer program ImageJ

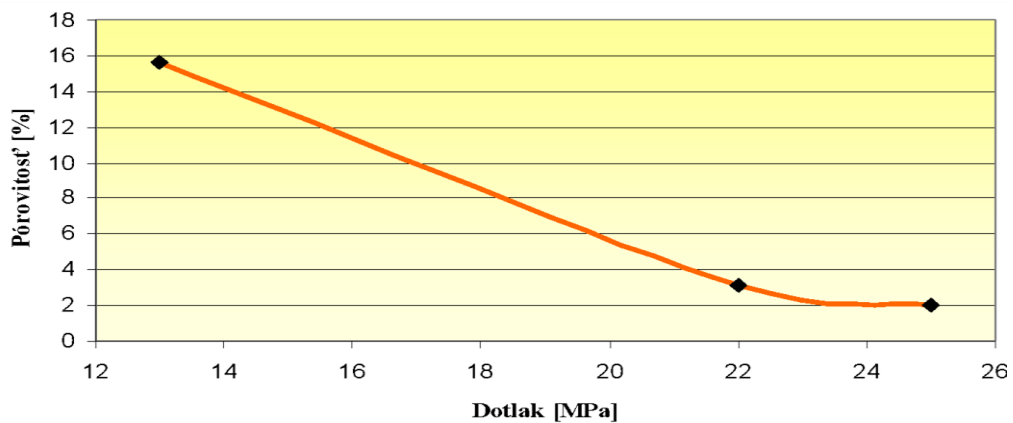
The evaluation of the porosity of samples obtained from the testing bars



Porositosť [%]

The velocity of pressing piston

Fig. 21 The dependence of porosity on the velocity of pressing piston



Porositosť [%]

Holding pressure [Mpa]

Fig. 22 The dependence of the porosity on the change of holding pressure

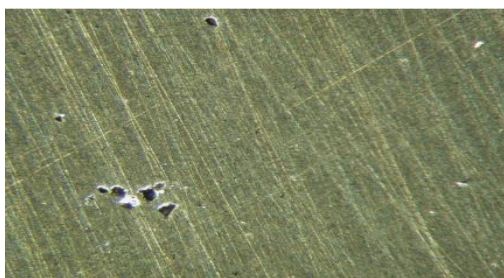


Fig. 23 Porosity 0.33 %
 $v = 2,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

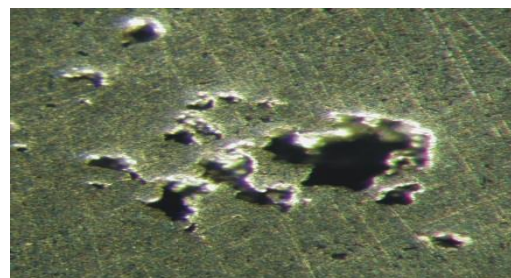


Fig. 24 Porosity 5.85 %
 $v = 2,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

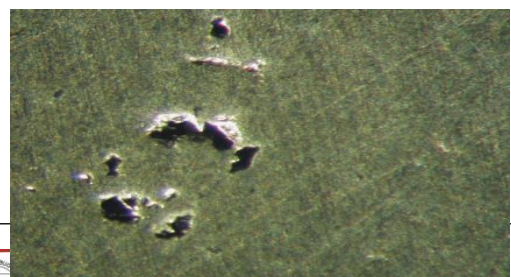
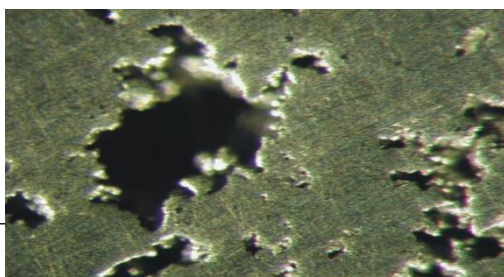
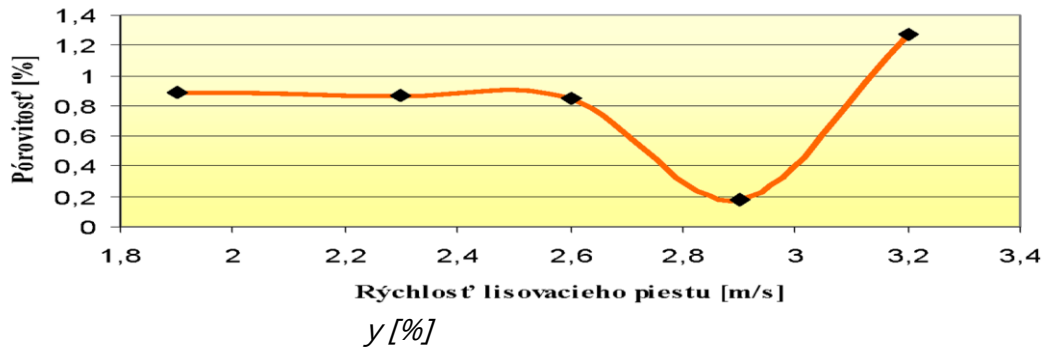


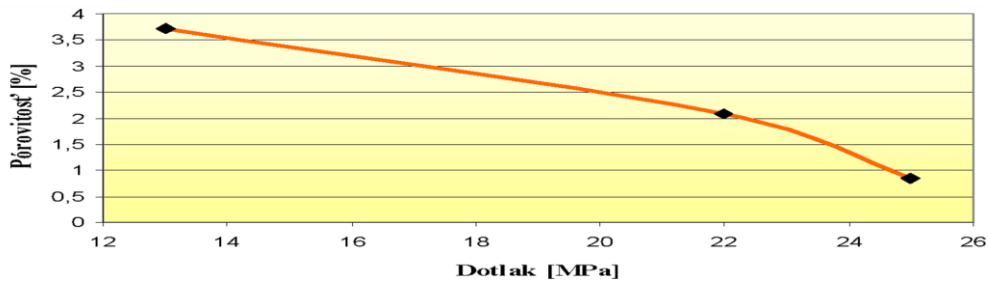
Fig. 25 Porosity 15.59 %
 $p = 13 \text{ MPa}$

Fig. 26 Porosity 2.03 %
 $p = 25 \text{ MPa}$

The evaluation of the porosity of samples obtained from the castings:



The velocity of pressing piston [m/s]
 Fig. 27 The dependence on the change of the velocity of pressing piston



Porosity [%]
 Holding pressure [Mpa]
 F

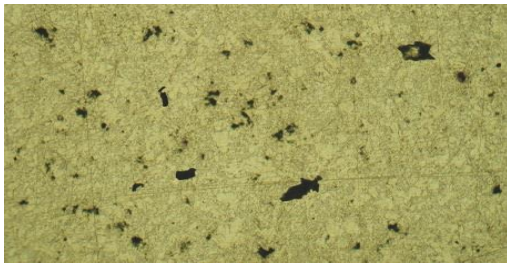


ig. 28
 The
 de-
 pend-
 ence
 of
 the



porosity on the change of lockout

Fig. 29 Porosity 0.18 %



$v = 2,9 \text{ m.s}^{-1}$
 3.2 m.s^{-1}

Fig. 30 Porosity 1.27 %



$v =$

Fig. 31 Porosity 3.73 %

$p = 13 \text{ MPa}$

Fig. 32 Porosity 0.85 %

$p = 25 \text{ MPa}$

The Analysis of Structures:

The structure is formed by: α – solid solution
eutectic from the residua of α – solid solution and silicon

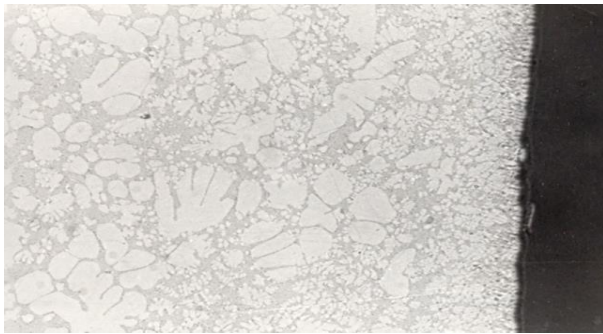


Fig. 33 The microstructure of the marginal part of sample /250x/



Fig. 34 Basic structure /2000x/



Fig. 35 The coalescence of eutectic cells

The analysis of the character of disruptions and casting failures

The fracture of the hypereutectic silumins is fragile, even and organized vertically to ten-

sile strength

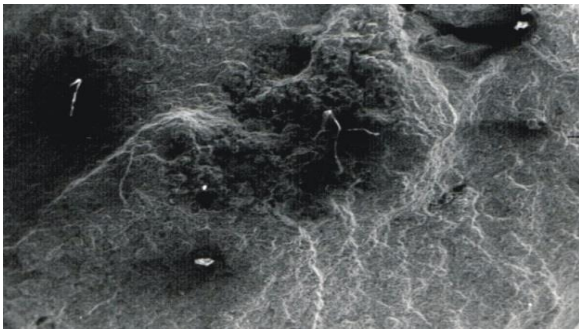


Fig. 36 The microscopic view of the fracture /10x/

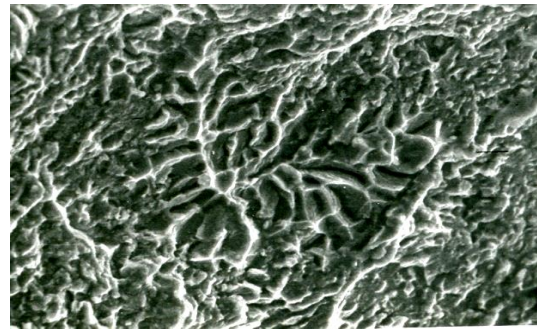
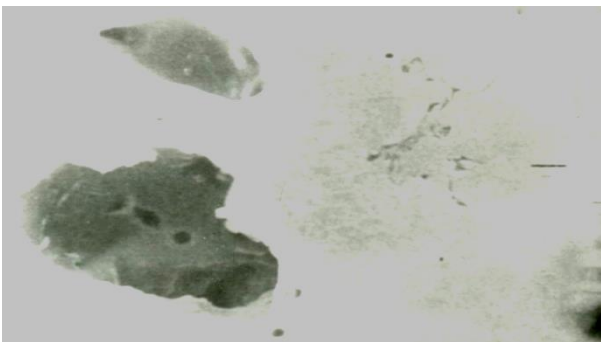


Fig. 37 The characteristic of the

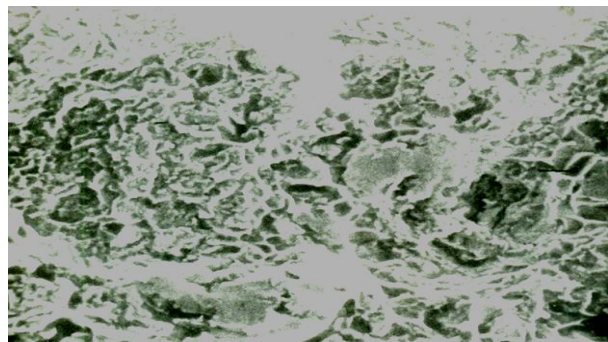
*the a dendrites of solid solution and eu-
tectic /250x/*

There were casting failures on the following fracture surfaces:

- the cavities with the surface formed by the dendrites, in the middle of which there is a membrane of Al_2O_3 oxide
- Al_2O_3 particles



*Fig. 38 Exogen bubble /250x/
face /250x/*



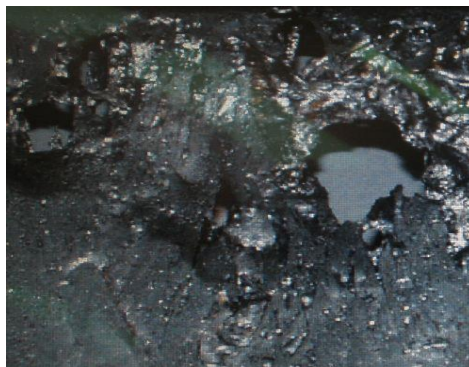
*Fig. 39 Al_2O_3 particles on the fracture sur-
face*

8. Casting failures

The occurrence of casting failures is affected by a number of factors, which are interconnected, and the change of one of them disrupts the setup of the others. The failure is defined as such a state of casting which prevents the formation of its utility properties. Considering the quality of product, it is defined as every deviation from the properties prescribed by technological norms or arranged conditions. The list of the links between failures and the conditions of their emergence according to their dependence on the factors of casting is described in the Savenov's diagram.

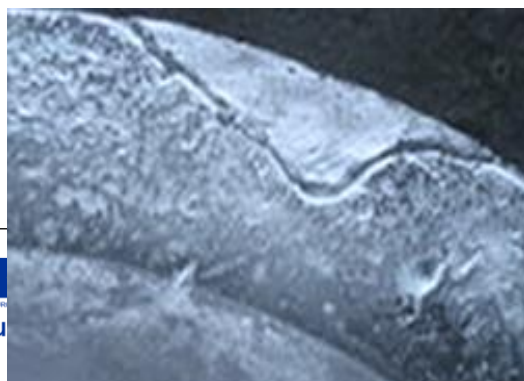
Insufficient casting

It is a state when certain spots are not filled by casting. It most frequently occurs in such places which are located the furthest from the flow notch, have the insufficient elimination of air or are stained by the remnants of lubricants, which have been brought in by flow of metal. Moreover, the overall formation of the casting and the location of the flow notch bear influence on the formation of insufficient casting. It is appropriate to construct the location of the flow notch as a prediction in such a way that the flow of melt does not hit the side, especially near the flow notch. If the design of the form is appropriate, it is possible to correct the mistake by the optimal setting of technological parameters.



Cold Joint

It occurs on the casting surface as a small pit with rounded edges. It is formed when two flows of prematurely solidified melt come together. The cause of this defect is a low pressure of the machine, low temperature of casting or uneven solidification of melt in the mold.

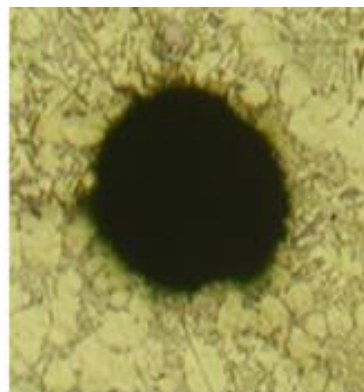
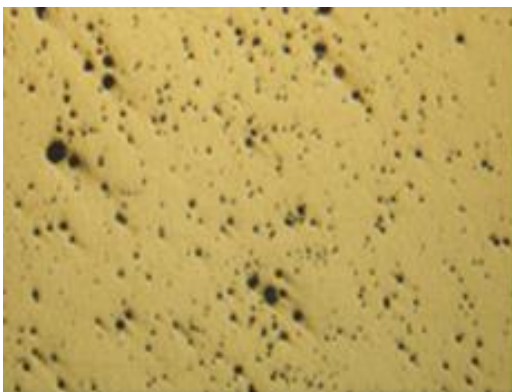


Porosity

It is caused by the shrinking of melt in the clusters and thermal joints of casting. The formation of pores is frequently caused by the differences of the width of sides and by the unguaranteed settling of melt after it is pressed down into the spots where solidification takes place last. The pores take forms of cavities with rough surface. Porosity often occurs in clusters and causes the looseness of casting. The elimination of the formation of porosity is possible by the reduction of the quantity of thermal joints, the suitable design of flow system with a large notch and the appropriate design of thermal system in such a way that the equal solidification of melt in the mold hollow is guaranteed. If such a conventional procedure is not able to solve the porosity problem, it is possible to opt for an extraordinary method of squeeze casting. The use of this method requires the appropriate equipment, i.e. the machine operating on this basis.

Bubbles

These defects are characterized by small cavities with smooth surface. They are formed by the air from the filling chamber, the mold hollow or the gas release of alloy, if the gas contained in the mold hollow is not sufficiently released by the air release system and remains locked in the casting volume. The reduction, or rather removal, of bubbles is enhanced by a fluent filling of mold hollow, which is meant to be completed in the places where an efficient air release is possible. The flow system must be designed in such a way that the air is not enclosed by melt and consequently pushed ahead of it. Therefore, it is appropriate to design the casting in such a way that the air is released from the spots where the melt is last solidified. It is also important to design the appropriate mouth of notch and the suitable location and volume of overflows.

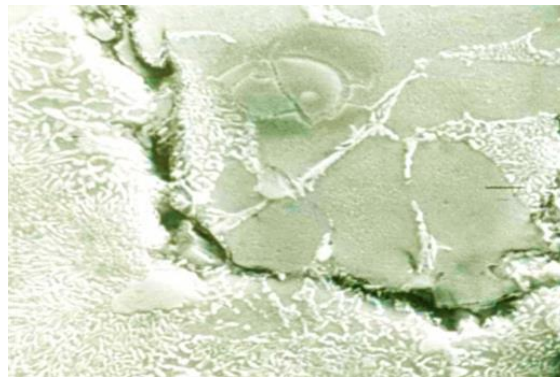


Blisters

The defect occurs when some air is enclosed slightly under the surface of casting. It is a result of high pressure in the bubble and low solidity of the side of hot casting. The cause is an insufficient air release of mold, a shape of the mouth of notch and a location of tempering channels in the body of mold. The occurrence of blisters is also enhanced by the excessive temperature of mold, the high temperature of melt on casting or the wrong start of holding pressure.

Trundles

The defect is caused by the joining of prematurely solidified flows of melt. Its cause is an insufficient pressure of casting machine, an insufficient temperature of melt or an uneven solidification of casting in the mold. A prediction is possible by the following of the technological procedure of casting, the correct setting of parameters, the right temperature of melt and the temperature of mold.



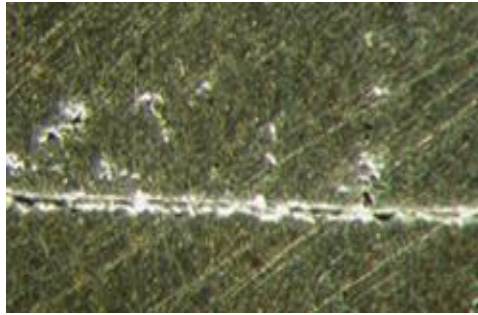
Splits

It is a defect in the cavities of the sides of casting and it is a defect based on the infringement of the fullness which goes from the surface to the volume of casting. It is a curvilinear infringement of the side which takes place in heat on a slightly oxidized surface. It starts within the process of solidification if natural course is mechanically or thermally impeded.



Cracks

They are defined as a curvilinear break of the side of casting which has occurred in cold. Their surface is clean. Their causes are a tension resulting from shrinking, an inappropriate design which causes the tension in the volume of casting after it has been cooled down, or a premature removal of casting from the mold. They run through the internal parts of cores because their edges are stronger than their cores after cooling.



Deformations

The design of mold influences the formation of deformations, which may be caused by:

- an insufficient chamfer of the shaping part of the solid part of mold
- a small chamfer of the deep shapes of casting
- a wrong location and insufficient surface of ejectors
- an insufficient supporting surface of casting on the releasing of movable cores
- a wear and tear of mold in the area of the unsuitable mouth of notch
- an inappropriate design of the cooling system of mold

Apart from the design it is the quality of mold which bears certain influence; especially the state of the surface of shaping part; the treatment of mold after the completion of casting cycle and the emergence of splits in heat.

Size Deviations

If a casting complies with the required conditions, it must comply with the obvious requirements regarding fullness, internal and external quality and mechanical properties. Apart from them it must comply with size requirements which are defined by the design documents. The requirements regarding the accuracy of sizes must be considered by a designer when he or she is projecting the completion of the mold of casting and the overall design of mold.

If we consider the size deviations from the point of view of the design of mold and the way of the completion of the mold of casting, we conclude that they are caused by the following determinants:

- the sizes which cross the dividing plane cannot be restrained within the narrow tolerance limits
- the system of the tempering of mold must also consider the influence on the size deviations of casting; the solution is an achievement of thermal balance in course of casting
- the wrong design of the value of the shrinking of casting in terms of the design of the mold in relation to the type of alloy
- The deformation of mold, i.e. deflection, overheating, caused by the insufficient sizing of the individual parts of mold

9. Additional devices to the die casting machines

Dosing equipment

The function of the manipulators of dosing is to transfer the measured quantity of melt from the holding furnace to the pressure chamber of die casting machine.

They consist of stand, power plant, swivel arm, scoop and probes.

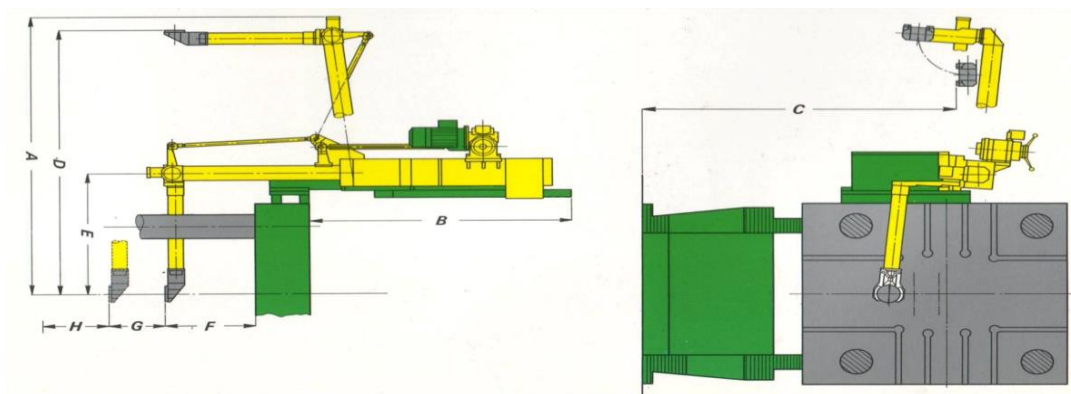
The stand is designed in such a way that it enables a vertical reposition and the manipulator to revolve. It is fixed on the ground next to the die casting machine. The power plant consists of electric engine, transmission and threaded gearbox.

The swivel arm is fixed on the output shaft of worm gear. There is a chain drive in the swivel arm. It keeps the support arm in the arranged position in the course of the moving of swivel arm. The support arm carries the scoop. It contains a device for the turning of scoop.

The scoop is mostly made of perlitic gray cast iron. Its shape is designed in such a way that when it is dived into the melt, the infringement of oxidative surface is minimal. The accuracy of dosage is about 0.8%. It is possible to empty the scoop entirely.

The machine for the collecting of castings

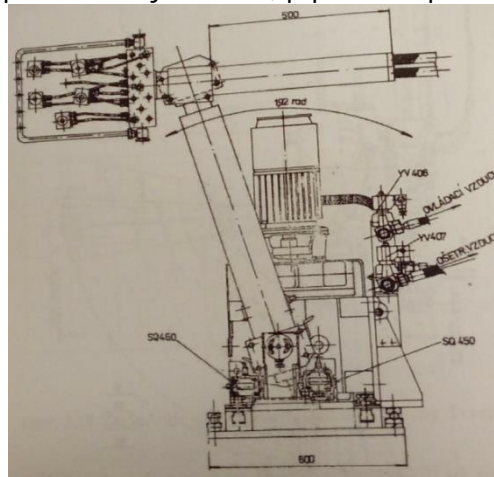
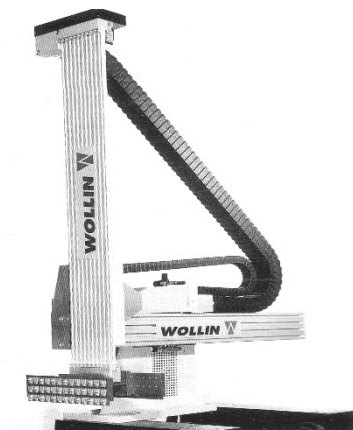
The collecting of castings is linked to some other operations such as the testing of castings. There are freely programmable industrial robots, which collect the castings.



The device for the treatment of mold

The external and the internal cleanliness of castings largely depends on the treatment of the active part of mold, which is provided by the treatment device.

It consists of reciprocator and pressure distributive system. The reciprocator is fixed on the solid caliper of pressure casting machine. It is possible to revolve it mechanically in the room of the dividing plane of mold and by the loosening of screws in the flange. The transition of treatment block to the location of mold is provided by pneumatic cylinder. The treatment of mold is done by lubricating and blowing nozzles. The supply of air and lubricant to the treatment block is provided by hoses, pipes and pressure vessel.



Trimming presses

The trimming of inlets on the castings is performed on the trimming presses. The operation of the trimming presses must be automatically self-guarding. The machine contains a lot of components, such as end-switches, hand-protecting devices and control valves.



There is a security of individual lift so that the press would make only one lift even if all the buttons were pressed.

The device for the auxiliary heating of operational liquid

The machine is able to get the liquid at the operational temperature in 3 – 4 hours of operation. The auxiliary heating is used to reduce the time.

The auxiliary heating is used if the machine is turned off for a rather long period. The temperature drops by 20 ° C.

The cooling of the liquid causes the rising of viscosity. It creates a coat on the filter liner which turns on the signalization of machine defect.

The most efficient are the electric heaters of operational liquids.

10. The melting of alloys

The alloys are melted in smelting furnaces with sufficient input to achieve an intensive melting and to reduce the overheating to minimum. The casting temperature depends on the type of alloy, the chemical composition, the design of casting, the complexity of design and the roughness of sides. Considering the casting temperature, it is necessary to take into account the cooling effect of mold and cores as well as the way of casting.

The excessive temperatures cause the rise of the quantity of gases, the excessive amount of oxides, the roughness of cores and the consumption of energy.

Melting is a thermo-metalurgical process. In its course the heating is added or rather created and the material (batch) changes its physical state, i.e. from solid (solidus) into liquid (likvidus).

The batch materials:

- Blocks of alloy
- Pure metals (Al, Mg, Zn, Cu, Si, etc.)
- Master alloys for doping (Al-Ti, Al-Cr, Al-Mo, etc.)
- Chemicals (ion based compounds) used for additional doping for the adjustment of structure
- Waste, which must be carefully selected according to its chemical consistence

Convertible material

Convertible material is formed by inlets, pours, remnants in the pressing chamber and

defected products of die casting. Considering practical experience, the percentage of convertible material depends on the size of casting, it can be from 20% of the weight of rough casting up to 75% of the weight of large castings.

In case of casting which does not require excellent properties it is possible to use an alloy of lesser quality by the use of convertible material in the course, specifically from the second to the third melting. The content of convertible material of the second melting should not exceed the value of 40% and the content of convertible material of the third melting should be within 30%.

Convertible material is classified as pure material, i.e. from the inlet system, defected castings and polluted material, i.e. the remnants from the filling chamber and the alloy polluted by oil. In the course of melting the batches are first to melt then a new block of alloy is added. It is followed by refining.

Melting, keeping and casting

Several types of melting aggregates are used for melting. The crucial factors are the economy and technology of the preparation of metal or alloy.

The most important technological parameters include:

- The performance of melting aggregate
- The way of the heating of melting aggregate
- The way of the change of temperature
- The movement of melt in the workplace
- The range of working temperatures and the change of temperatures
- Control and regulation
- Atmosphere and pressure
- The time of melting process

11. CA technologies in foundry

The rapid introduction of computer technology into every branch of industry has opened the way to experimental and simulation modelling and the evaluation of the designs of inlet systems and pressure forms which are designed analytically and empirically. It has been proved that the use of computer technology for the simulation of processes which take place in die casting saves 40% of time which is needed for the design of casting, 30% of time needed for the evaluation of the results in laboratories and it brings an increased profitability by 25% in terms of the whole process.

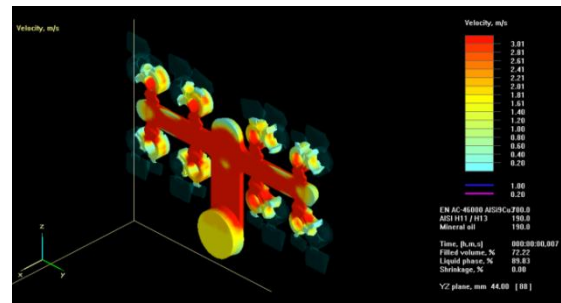
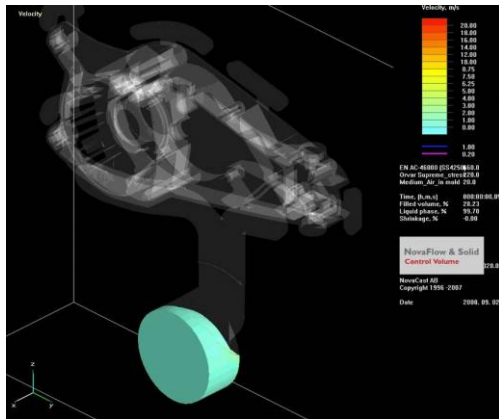
There are several dozens of simulation programs which are used for the simulation of processes taking place inside the mold. The most usual programs are the following ones:

- NovaFlow & Solid,
- PamCast,
- Magmasoft,
- Simtec - Wincast.

NovaFlow & Solid

The program is developed by NovaCast, S.A., Sweden. The calculation of the course of the filling of the mold hollow takes place simultaneously with the solving of the formula which calculates the flow and the penetration of heat. The user is especially provided with the overall view on the course of filling and solidification. It provides a definition of the size and the layout of defects for any type of alloy. At the end of filling, the temperature fields of casting are subsequently used for the simulation of solidification. The flow of incompressible liquid, Reynolds number, the friction losses in the inlet system of mold, the change of the density of metal in course of solidification and the size of volume changes are taken into account in the simulation.

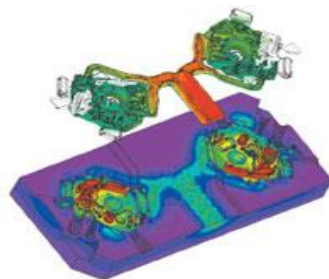
The program is equipped with a database of the thermo-physical properties of alloys and the material of molds. It is possible to alter and to add the database. The visualisation is provided in the 3D form with the possibility of the animation of the process. The program is able to display the vectors of flowing, the layout of the temperatures of liquid phase, the layout of shrinkages in 2D or 3D format and the time course of temperatures.



PamCast

This program is a product of ESI Group, France. It is more precise and detailed than NovaFlow & Solid. It can solve Navier-Stokes formulas of the turbulent flow of metal and air together with thermal balance extremely accurately and without any approximations. The user sets the input parameters in dependence on time and temperature. It is possible to animate the movement of free metal boundary, the distribution of solid and liquid phase and to predict the layout and the occurrence of shrinkages.

A simulation enables to optimize the set up of the machine in such a way that there is no turbulent flow of the melt and the consequence of which is the reduction of the contact of the air and the melt.

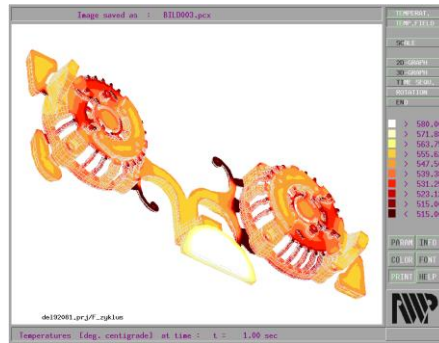


Simtec – Wincast

It is a complete and universal instrument for the optimization of the design of the production of castings and it provides a wide range of information:

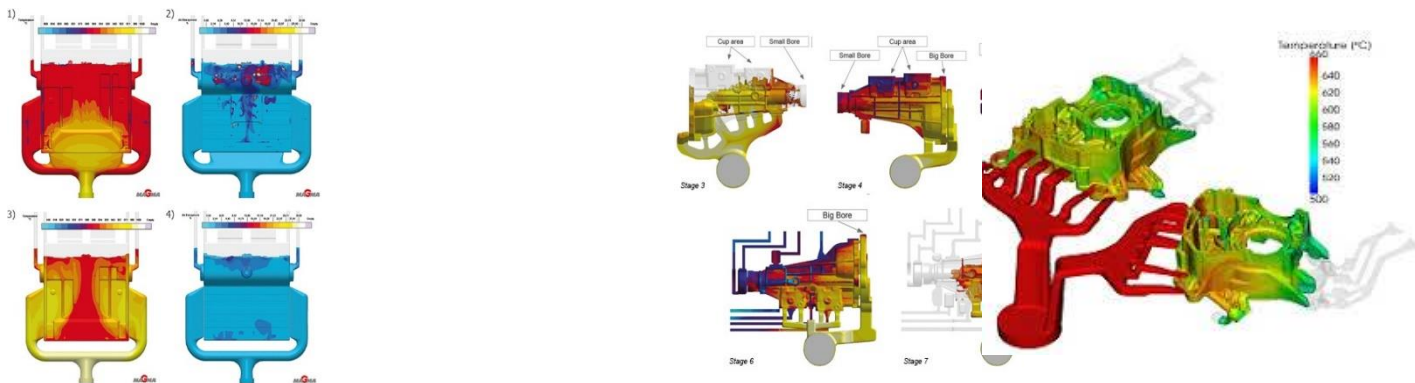
- The course of casting and cooling
- Residual stress
- Shrinking and deformation after casting
- The formation of porosity
- The microstructure of material
- The strength properties of components
- The suitability of casting system
- The course of temperatures and the design of cooling in case of metal molds

It has functions and modules which accelerate an accurate setting and evaluation of the specific parameters of the technology of die casting and the thermo-physical properties of materials. One of the advantages is a fact that the user does not have to import the shape of casting from other programs. It is possible to create and adjust it directly in the program. The possibility to import and to communicate with other programs is guaranteed by a number of interfaces, such as FEM, VDA, STL, etc.



Magmasoft

It is a most popular software. It is designed for 2D and 3D simulations which deal with the filling and solidification of castings, the calculation of residual stress, thermal field and heat flow. This program is an effective instrument which enables to reduce defects or costs and which can increase the use of metal. It is characterized by a short time of calculation, high accuracy, efficiency and easy operation.



12. Special technologies in foundry

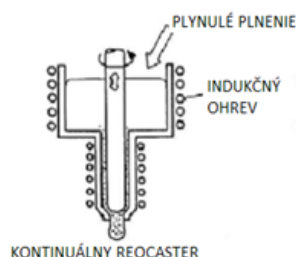
SEMI SOLID METAL (SSM) PROCESS

Semi solid metal is a casting method for metals and their alloys which are in partly solid state, i.e. the temperature is between liquid and solid. The material is similar to the consistency of plasticine, i.e. thixotropic state of material. The picture shows a semi-finished product containing 55% - 60% of crystal phase, which can be cut by a knife.



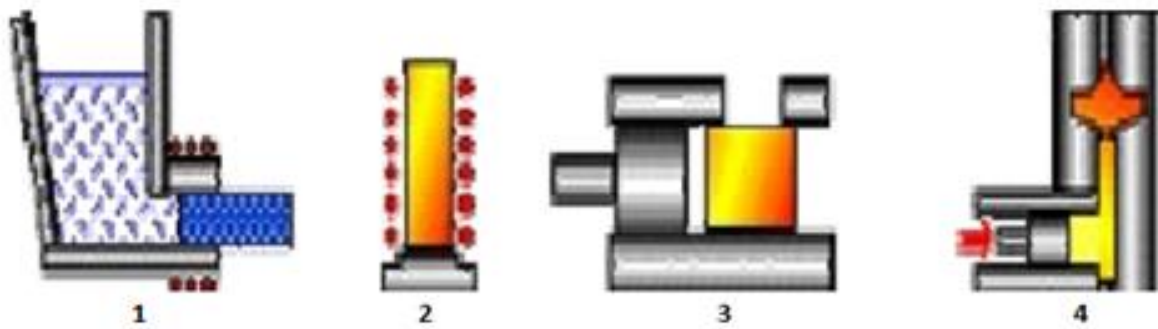
Rheocasting

Rheocasting (reoliatie) is in fact a modified method which uses a semi-liquid state of material. The term for this way is rheocasting because the principles of rheology are used for the preparation of semi-finished product. The scheme of the production of semi-finished products is in the figure. The machine is formed by two cylinders.



Thixocasting

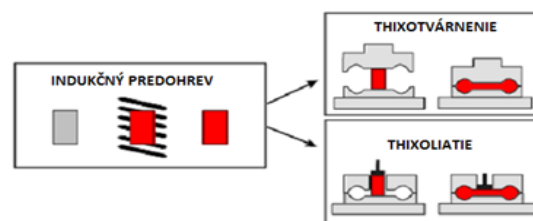
Thixocasting (thixoliatie) is essentially a modified SSM method. The base for further processing is a specifically prepared material, which is usually made by continual casting and subsequently divided into tablets. Such tablets are heated by inductive way so that the part of the solid phase is ranging approximately from 60% to 65% of volume. They are subsequently put into the horizontal chamber of pressure machine. The castings are made in a similar way to rheocasting. The duplex structure with all the positive properties is preserved as well.



Description: 1 – the production of continually cast semi-finished product which is made of specially prepared melt and which is divided into tablets, 2 – the heating of tablets by inductive heat, 3 – the insertion of tablet into the pressure machine, 4 – the injection of heated semi-finished product into the mold hollow

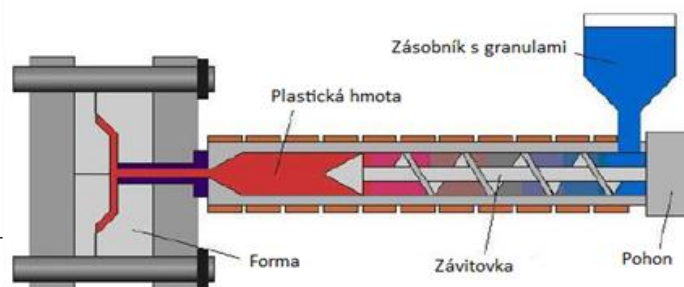
Thixoforming

Thixoforming is similar to thixocasting. It also uses the advantages of SSM or rather thixocasting. Thixoforming also uses semi-finished products which are made of continual casting and subsequently cut into tablets. The inductive heating of tablets reaches such a temperature so that the share of the solid phase of their volume is 70%. The main difference between thixocasting and thixoforming is the share of the solid phase in the tablet of material, which is put into the form. Moreover, there is a difference in the machine which is used. The heated tablets are gradually put into the special form which is fixed on the forming press. The scheme of the method is in the figure.



Thixomoulding

Thixomoulding is a casting method which is based on the heating up of metal powder or granulate on the base of magnesium or aluminum in a special pressing machine. The scheme of the principle of thixomoulding is in the figure below.



13. Literature

GAŠPÁR, Š., PAŠKO, J., MAJERNÍK, J. *INFLUENCE OF STRUCTURE ADJUSTMENT OF GATING SYSTEM OF CASTING MOULD UPON THE QUALITY OF DIE CAST*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM - Verlag, 2017. 82 p. ISBN 978-3-942303-47-7.

GAŠPÁR, Š., PAŠKO, J. *Technológia výroby hliníkových odliatkov tlakovým liatím*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2015. ISBN 978-80-553-2236-0.

MAJERNÍK, J. *Problematika návrhu vtokových soustav permanentních forem pro lití kovů pod tlakem*. 1st ed. Stalowa Wola: Wydawnictwo Sztafeta Sp. z o.o, 2019. 94 p. ISBN 978-83-63767-63-1.

PAŠKO, J., GAŠPÁR, Š. *Technological Factors of Die Casting*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2014. 93 p. ISBN 978-3-942303-25-5.

RUŽBARSKÝ, J., PAŠKO, J., GAŠPÁR, Š. *Techniques of Die Casting*. 1st ed. Lüdenscheid: RAM-Verlag, 2014. 199p. ISBN 978-3-942303-29-3.

MOULDS AND CASTING

1. Manufacturing moulds and cores

1.1. Manufacturing of moulds and cores

Forming

- Manual forming
- Machine forming

For manufacturing of a disposable mould, moulding boxes are used of a circular, square or rectangular shape, with perforated walls and mesh on the sides.

Manual forming uses the following patterns:

- planar – transverse and longitudinal
- rotational

Pattern is a modelling device (wood), whose edge is reinforced by sheet metal in order to increase its durability. It is made of a plate and it is used as a model for manufacturing large-size regular castings.

- advantages: low material demands, little production waste
- disadvantage: strenuous work

In manual forming, we distinguish between a split pattern forming or solid pattern forming.

Machine forming

A split pattern is always used. Bottom board is used. Unlike bottom board, pattern plate has pins which are used for fixing the flask, which ensures a 100% reproducibility of the casting cavity position to the flask. Each part of the mould is manufactured separately.

- Compression moulding – the problem is that the mixture around the model is not evenly reinforced. The smallest reinforcement is at the point of the highest column. For this reason, press board is used.
- Jolt moulding – the mould material is fixed around the bottom part of the model. Strengthening is given by the kinetic energy of the column of the mould material, while the stroke height is 10-100mm and the number of strokes per 1 min is 120 -

150.

- Slinger moulding – it is used for large-size product manufacturing
- Blow moulding – for cores production – core box is filled by gradual setting of core mixture (not frequently used)
- Injection moulding – used also for cores production – core mixture is relocated to the core box in a second

Flask-less moulding

Injection and pressing

It is possible to manufacture up to 300 moulds per hour – Figure 1.1

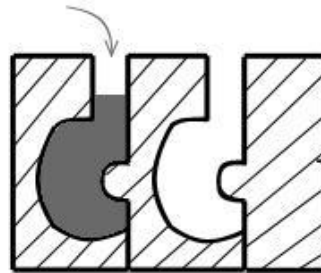


Figure 1.1 Flask-less moulding

Manufacturing shell moulds for a metal pattern

Metal pattern is pre-heated and sprayed with silicone oil. Then it is placed in the container, flipped (2 times), the shell is put in the furnace (approx. 450 °C), then another one is made and formed – Figure 1.2.

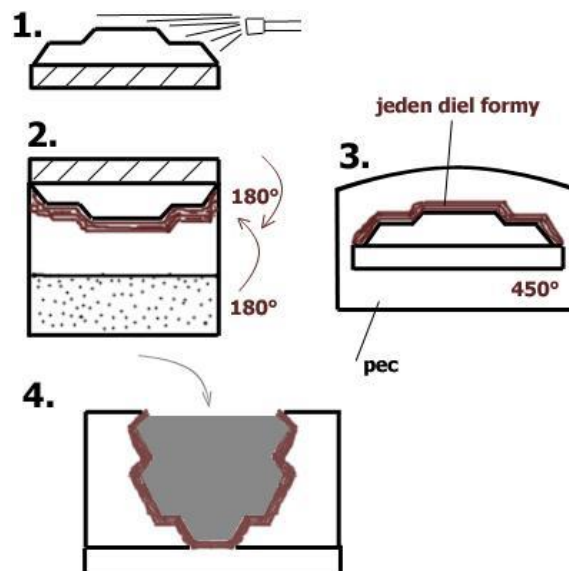


Figure 1.2 Shell moulds for metal model

Manufacturing shells for lost-wax pattern casting

Waxy tree model is immersed into a liquid binder, then sprinkled with high-silica sand. This is repeated until a shell of sufficient thickness is created. The tree is immersed in hot water in the inverted position, the wax melts and leaks, the shell is made red-hot. This method is used for making very precise products.

Manufacturing shells for burnt-pattern casting

It is a polystyrene pattern – polystyrene is burnt at the temperature of 100 °C, generating H₂O+CO₂, binding high-silica sand and thus creating a thin shell. Figure 1.3.

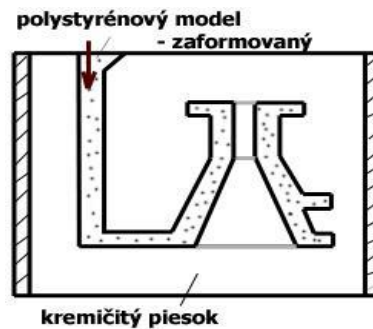


Figure 1.3 Shell mould with burnt-pattern

Legend: polystyrénový model polystyrene pattern, zaformovaný – formed, křemičitý piesok – high-silica sand

Cores hardening

- in hot core boxes - HOT-BOX – high-silica sand +binder (bitumen) – metal core box – Figure 1.4.

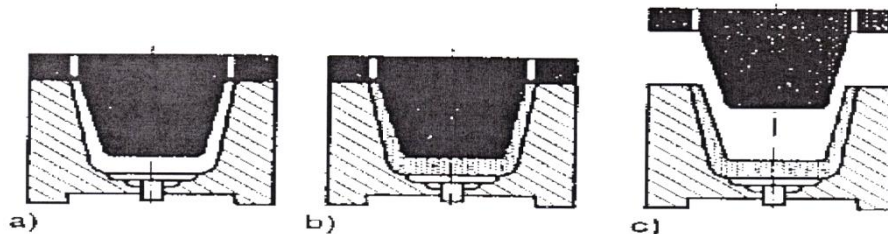


Figure 1.4 Manufacturing hollow core using Hot – Box method

- a) heated core box; b) hardening moulding mixture by core heat;
- b) dismantling core box and removal of core

- in cold core boxes - COLD-BOX – chemical reactions – gaseous hardener – Figure 1.5.

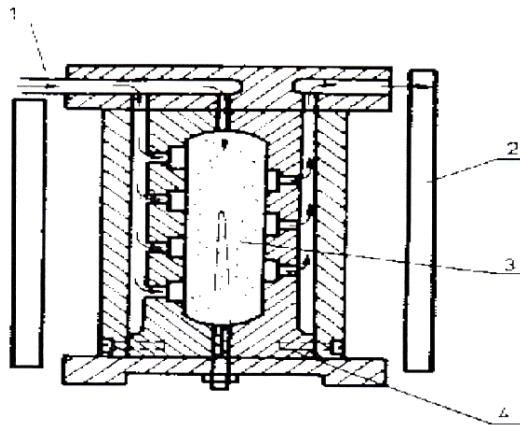


Figure 1.5 Core box for Cold – Box method
 1 – gaseous catalyst inlet; 2 – extraction; 3 – core; 4 – core box

1.2. Special methods of casting manufacturing

Jolt moulding – Figure 1. 6

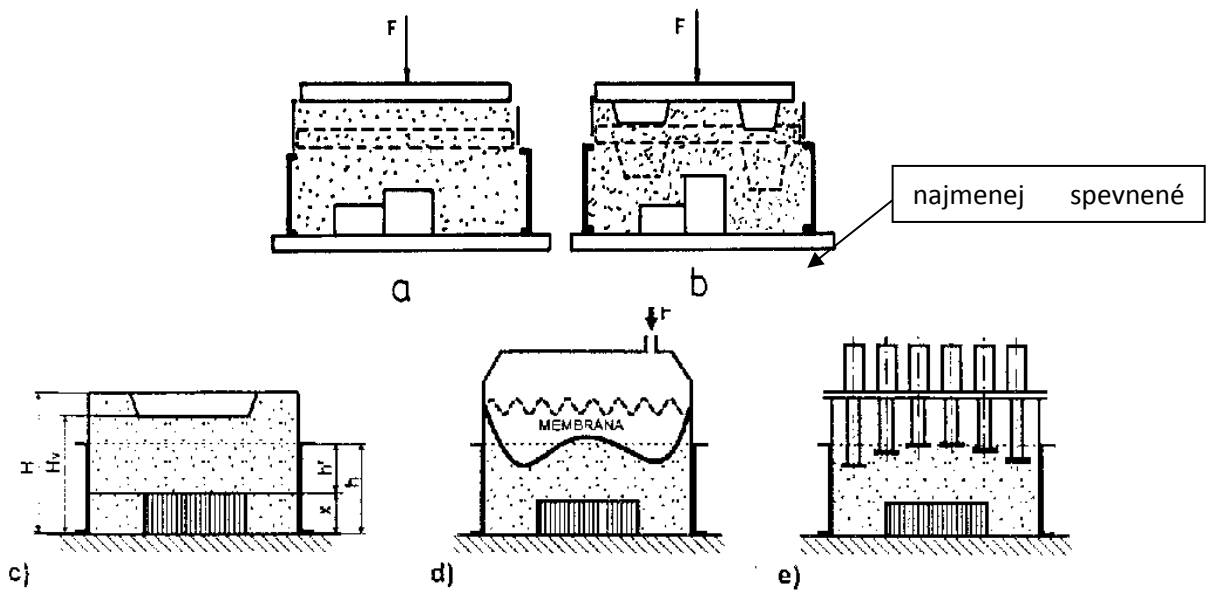
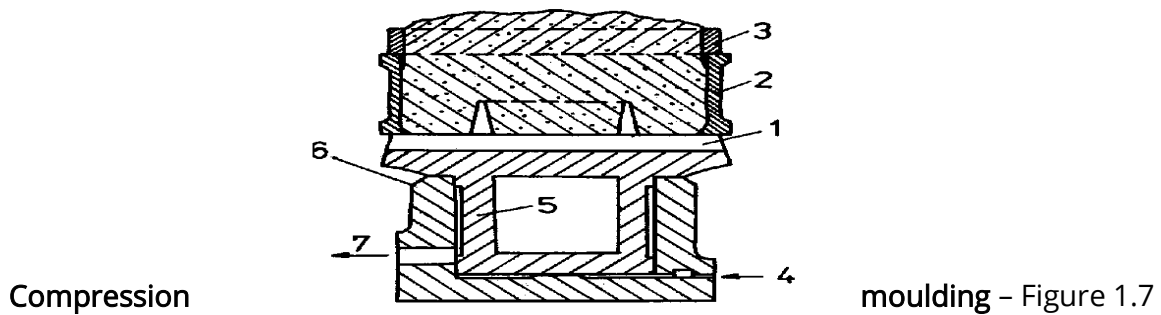


Figure 1.7 Compression moulding

Slinger moulding – Figure 1.8

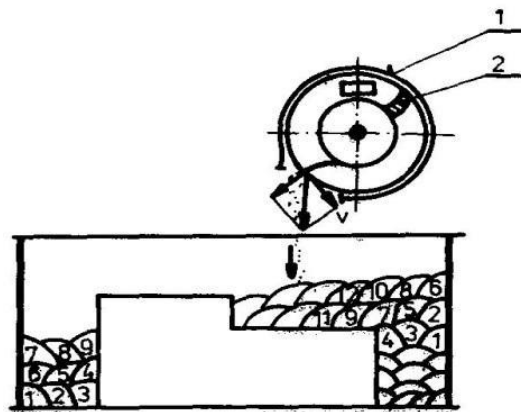


Figure 1.8 Slinger moulding

Vacuum forming – Figure 1.9

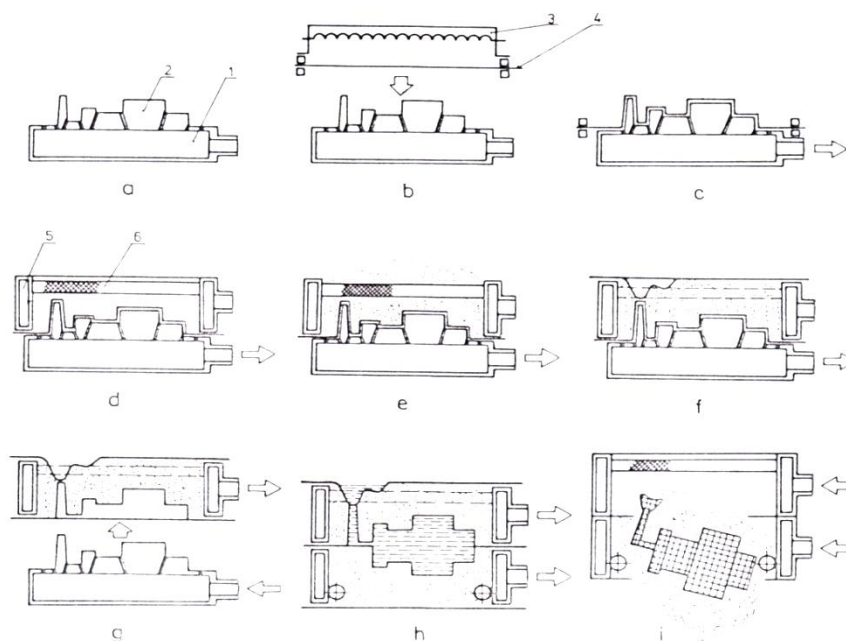


Figure 1.9 Vacuum forming

1 – bottom board, 2–pattern, 3- heating body, 4- foil, 5- cope box, 6- intake

Initial position of pattern, b- foil heating, c- stretching softened foil onto pattern due to vacuum acting in flask, d- placement of flask on pattern, e- filling flask with dry sand, f- covering pouring basin of the flask with second foil, g- bottom board air intake, removing flask, h- joining mould halves and filling the mould with metal. i- removing vacuum in both flasks. removal of castina

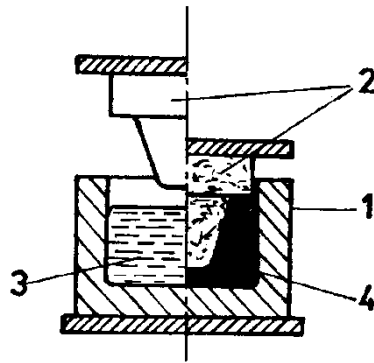


Figure 1.10. Casting and compression method

1- mould, 2- pressing piston, 3- pressed liquid metal, 4- casting

Manufacturing castings by extruding melt from mould – Figure 1.11

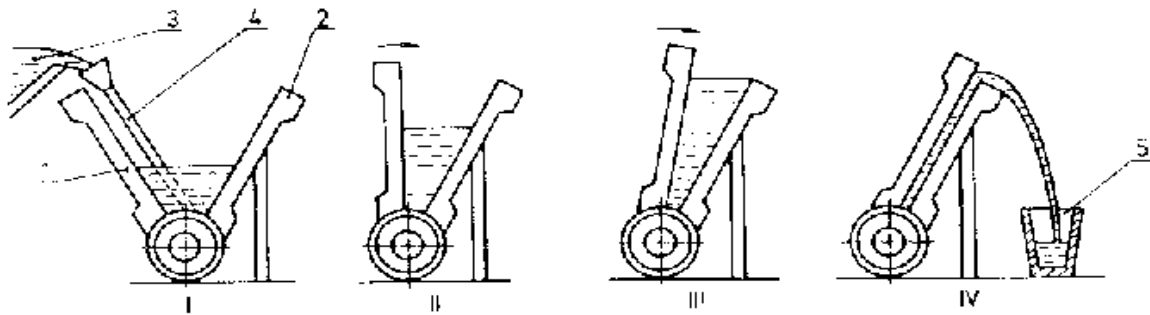


Figure 1.11 Manufacturing castings by extruding melt from mould

1,2- movable parts of mould, 3- pouring ladle, 4- runner, 5- ladle
 I- filling the mould with metal, II- forming castings using punch,
 III- ejection of casting from mould, IV- pins casting

1.3. Casting mould – gravity casting and special casting methods

Gravity casting using tilting ladle – Figure 1.12

Gravity casting is usually carried out by two methods:

- principle of gravity casting in expendable sand mould,
- principle of gravity casting in permanent metal mould.

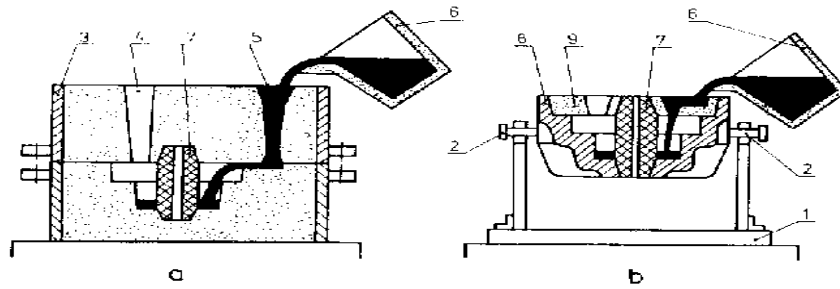


Figure 1.12 Gravity casting using tilting ladle
 1- Base plate, 2- swivels, 3- flask, 4- feeder, 5- runner, 6- ladle,
 7- core, 8- metal mould, 9- core
 a) casting in expendable sand mould, b) casting in permanent combined metal mould

Centrifugal casting – Figure 1.13, Figure 1.14

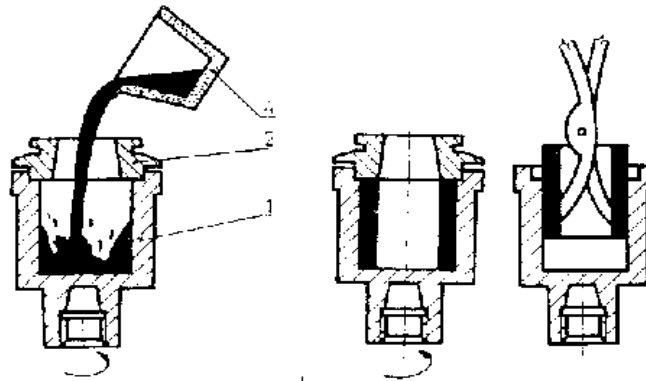


Figure 1.13 Centrifugal casting with vertical rotating axis
 1- metal mould, 2- lid, 4- ladle

Continuous casting – Figure 1.15

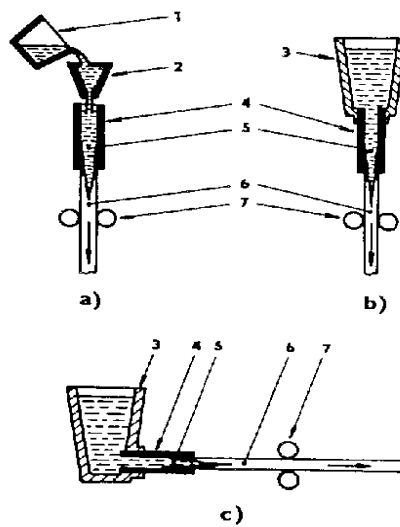


Figure 1.15 Continuous casting

*1- ladle, 2- funnel, 3- melting pot, 4- mould, 5- liquid metal, 6- solidified material,
7- drawing cylinder*

a- vertical open system

b- vertical closed system, c- horizontal closed system

2. Moulds stress in casting

2.1. Moulding box

Choosing moulding box depends on the placement of the pattern in the mould, while the directional distance of the pattern from the moulding box are kept as seen in Figure 2.1.

Moulding box: is a solid and compact mould cover enabling its handling. It can be of different shapes (mostly rectangular or square cross section). Frames with holes for folding moulds with folding pins are located on the frames, ensuring accurate and constant position of the mould parts after its dismounting and re-assembling.

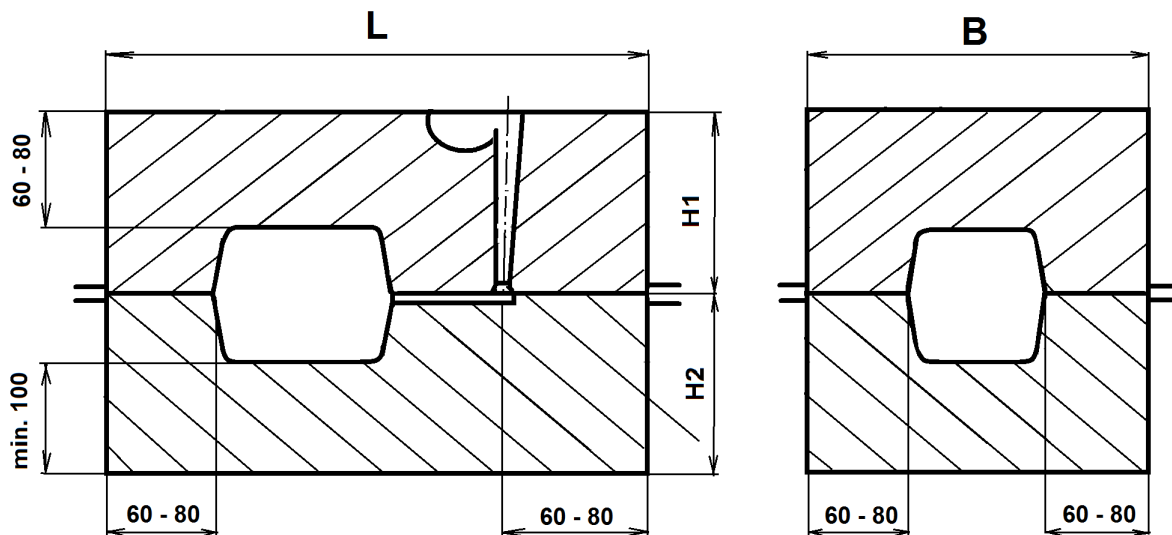
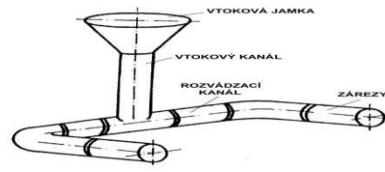
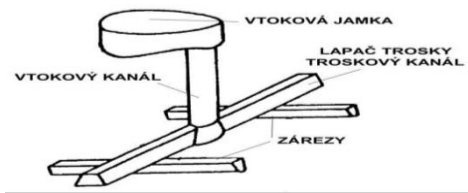


Fig. 2.1 Distance between pattern and moulding box

Gating system

Gating system is a system of gates that are used to fill the mould with melted metal (Fig. 2.2). In the gating system, the melted metal must not be cooled too much so that it could fill the mould reliably; it must not be gassed, foamed, etc. The melted metal also must not damage the mould walls. The gating system must capture as much impurities as possible. The melted metal distribution should enable guided solidification and prevent shrinkage.



a)

b)

Fig. 2.2 Gating system

a) for casting cast iron b) for casting steel

Basic components of gating system:

- a) *pouring basin* – it serves to capture the metal flow from the foundry ladle and its directing to the runner,
- b) *runner* – serves to supply melted metal from pouring basin to the distribution channel,
- c) *distribution channel* – supplies melted metal from the runner to the gate and captures slug and dirt tore off,
- d) *gates* – connect the distribution channel and mould cavity,
- e) *overflow funnel* – conducts gases and steam generated during casting.

2.2. Forming

Determining the quantity of moulding sand for forming

Net sand consumption is given by the difference between the volume of all frames used for forming and the volume of the pattern. It is also necessary to add the volume of the core. To calculate the mass of moulding materials, the specific weight of the sand is $1.7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Composition of moulding mixture for smaller castings:

Grey cast	sand used	75 – 90 %,
	Pure sand	22 – 8 %,
	coal	3 – 2 %,

core components:

Grey cast	fresh sand	98 – 99 %,
	Sulphite lye	1 – 3 %,

For particularly thin-walled cores, 1.5% linseed oil is used.

Calculation of forces acting on the cope of the mould during casting

During casting, the mould cope is lifted by a considerable force that results from the core lift in the prints and the pressure of the melted metal on the cope of the mould. In casting of smaller castings, it is sufficient to fasten the frames to each other, thus creating a single unit. In the case of bigger castings, it is necessary to use a weight specially designed for this purpose, with lugs for crane.

Determining the place and volume of rising gate and coolers

Due to shrinking, shrinkage is created, which degrades the casting. Therefore, the casting is increased by feeder, which is removed after solidification. Feeders are most often used for steel castings (steel has the greatest shrinkage). Determining the volume of the feeder (the most suitable cross-section is circular) is based on the volume of the shrinkage, which is about 3.8 % of the initial volume. Feeder must be sized so that the draw fits in it. For this reason, the ration of draw volume to feeder volume is 1:5, while the height of the feeder is:

$$h = (1,5 \div 2) \cdot d \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

where: d – diameter of feeder in mm.

If it is not possible to place the feeder, coolers are used, which will cause the metal to cool faster and thus prevent the shrinkage.

2.3. Casting

Calculation of metal utilization

It is necessary to determine the **level of metal utilization, which is the ratio of the weight of the rough casting to the weight of the raw casting.**

Rough casting weight is the weight of casting cleaned from auxiliary casting additives.

Raw casting weight is the weight of pure metal solidified in mould.

Casting process

Melted metal is cast into a mould from a ladle transported to the mould by crane or trolley. For grey casting, a hinged ladle is used, while for casting steel a bottom-drain ladle is used.

For a quality casting, casting speed is very important. The temperature of the metal cast should be so high that the metal perfectly filled the mould even in the thinnest walls. The casting temperature affects the quality of the casting. The speed of casting must be

so high that the inlet is filled with the melt metal during casting and filled up to the edge after casting. This way the impurities, slug, and washed sand float on the melt metal surface and will not appear in the mould. It is also important not to interrupt the casting process, otherwise the same risk arises; moreover, the melted metal surface is immediately covered with oxides layer that make a perfect joining of metal impossible.

Casting tools

Moulding rammer – basic tool for manual forming. Manual moulding rammers can be wooden or metal.

Trowels – are used for treatment and smoothing of mould face after casting removal (Fig. 2.6).

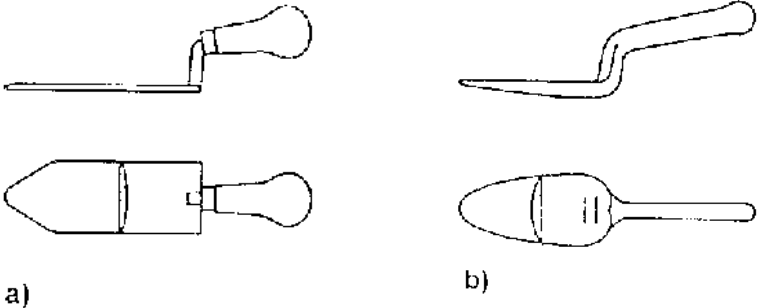


Fig. 2.6 Trowels
a) flat b) spoon

Lancets – they are used for making gates, fossas, or to correct mould defects. They are of various shapes and sizes (Fig. 2.7).

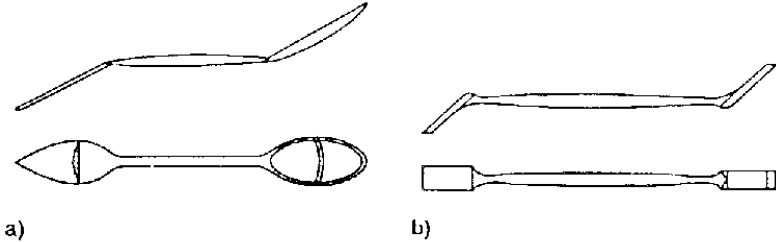


Fig. 2.7 Lancets
a) spoon b) flat

2.4. Forming using section mould and core

Fig. 2.8 shows a gearwheel (1) manufactured by casting. It’s a casing with an inner hole manufactured by means of core. In such a case, section mould is used for creating of the

hole (2) – a pattern consisting of two connected parts, centred by means of connecting pins. There are additional parts – prints (3) on both parts of the pattern, which create beds for placing the core – the core is placed in the mould by means of conical pins. Core is manufactured by means of core box (4). Wooden runner pattern (5) is identical with the pattern of whistler channel.

For this forming method, it is typical that the casting pattern creates a cavity both in the upper and lower part of the mould.

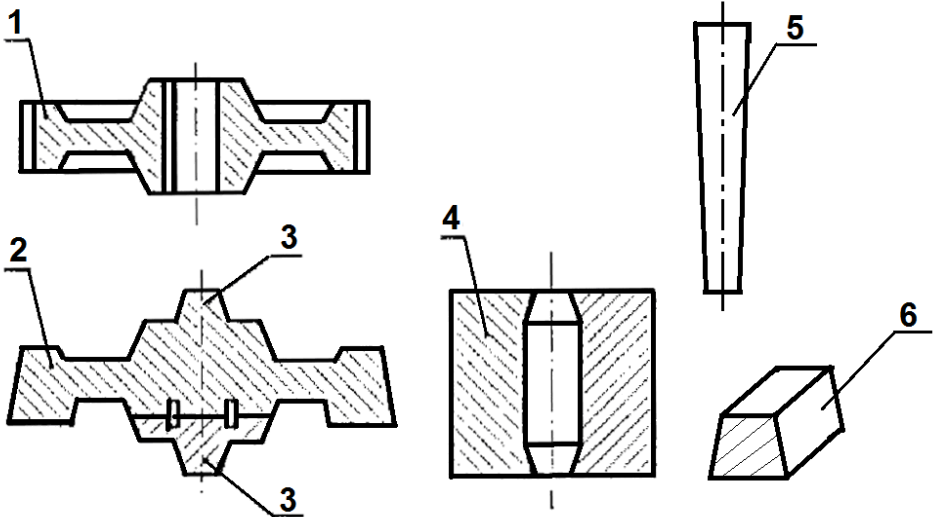


Fig. 2.8 Product with gating system

1 – component (gearwheel), 2 – section pattern, 3 – print, 4 – core box, 5 – runner mode, 6 – dirt trap pattern

Forming the mould drag

A lower moulding box (4) is placed on the cleaned pattern plate (1) and the lower casting pattern (Fig. 2.9) is suitably placed in the space. In order to enable to remove the pattern from the mould, it is dusted a powder which prevents sticking to the pattern. A layer of loosened moulding mixture of the roughness about 2 – 3 cm is sieved by means of strainer. The moulding box is filled with the moulding mixture (3) (not sieved again). The moulding mixture is condensed using a hand rammer from the outer edge to the middle. Then more layers of the moulding mixture are added until the moulding box is filled up to the cope edge. Finally, the excess mixture is cut off with a steel alignment ruler. This creates a surface on which the drag of the mould will be after its rotating.

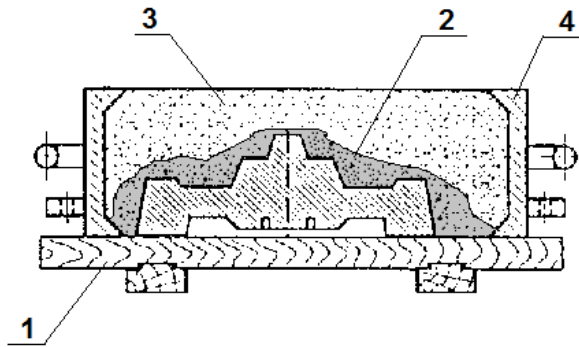


Fig. 2.9 forming the mould drag

1 – pattern plate, 2 – modelling mixture, 3 – moulding mixture, 4 – moulding box
Turning the mould drag by 180°

After forming the mould drag, the moulding box is turned together with a mat (so that the pattern does not fall out of the mould) by 180° and placed on another mat.

Forming the cope of the mould (Fig. 2.10)

The cope box (2) is placed on the lower moulding box (1) (turned by 180°) by means of pins (4) inserted in the holes in the moulding box roots. The pins ensure the mutual position of the cope and the drag, which is important after dismantling and assembling the mould.

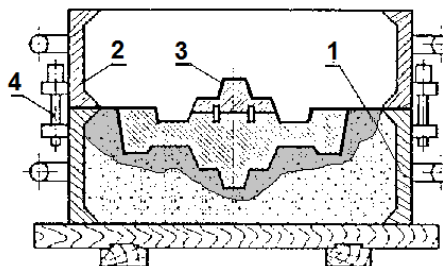


Fig. 2.10 forming the cope of the pattern and moulding box

1 – lower moulding box, 2 – cope box, 3 – upper part of pattern, 4 – pins

The upper part of the pattern is placed on the lower part of the pattern (3) (Fig. 2.11), together with the patterns of the gating system so that they are not close to the walls and the partitions of the frame. The cope of the mould is treated and vented in the same way as the drag of the mould. Around the runner, pouring basin is cut around in the desired shape. If the pouring basin is made by means of the pattern, we release it by shaking it and pull it out of the mould, including the patterns of the runner and whistler.

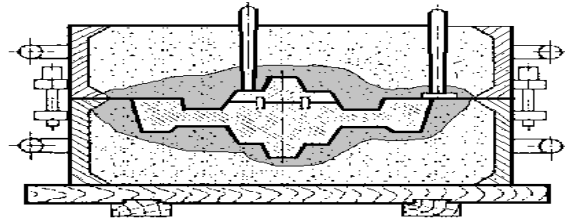


Fig. 2.11 Forming the cope of the mould

Dismantling the mould and pulling out the pattern

With a wood hammer, we tap on the corners of the cope box so that the contact surface between the cope and the drag as well as between the pattern and the moulding mixture is released. The pins are loosened but not pulled out. First the cope box with the loosened pins is raised, then the pins are pulled out. The cope of the mould is turned by 180° and placed on a wooden mat. Using foundry brush we moisten the edge of the moulding material around the mould so that the water does not reach the pattern. The pattern of the casting as well as the pattern of the distribution channel is released by shaking and pulled out by means of hooks, a stick in the form of a square pyramid or screwing the hoists. The cuts are in the drag of the mould, if they were not made by means of pattern. Possible errors are repaired manually and the remainders of the moulding mixture are blown off.

Assembling the mould and preparation for casting

After removing the individual parts of the pattern, core (manufactured by means of core box) is inserted in the mould. The core (1) is placed in the drag of the mould – the core pin must fit into the bed created by the print on the pattern. The upper part is placed on the lower part, and their mutual position is ensured by pins. The mould is placed on the field (Fig. 2.12). The cope of the mould is loaded with a weight in order to prevent it from being lifted during the casting as a result of the upthrust forces.

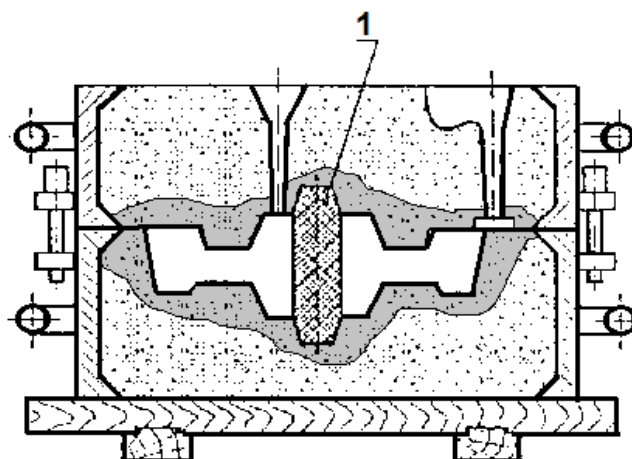


Fig. 2.12 assembled mould with a core

1 – sand core

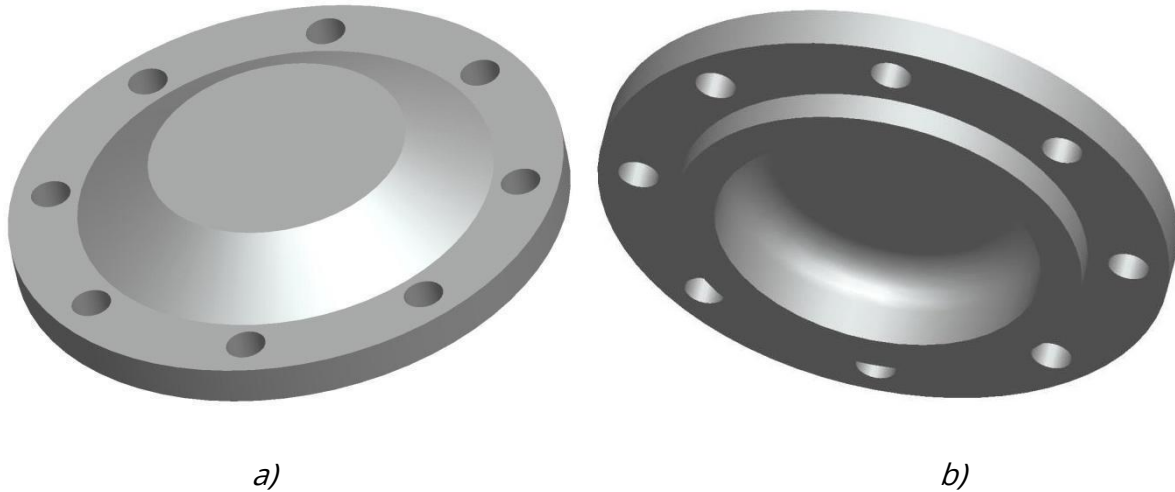


Fig. 2.13 Component made by means of casting in axonometry

Pattern device design

Choosing the material of the pattern:

Due to the one-off production, a suitable material for manufacturing the pattern is wood. According to STN 04 2008, for the castings made of grey cast, a split wooden pattern will be used, whose surface will be red.

Since 8 holes of the \varnothing 10mm on the lid will not be precast, it is not necessary to consider them in the design (Fig. 2.15).

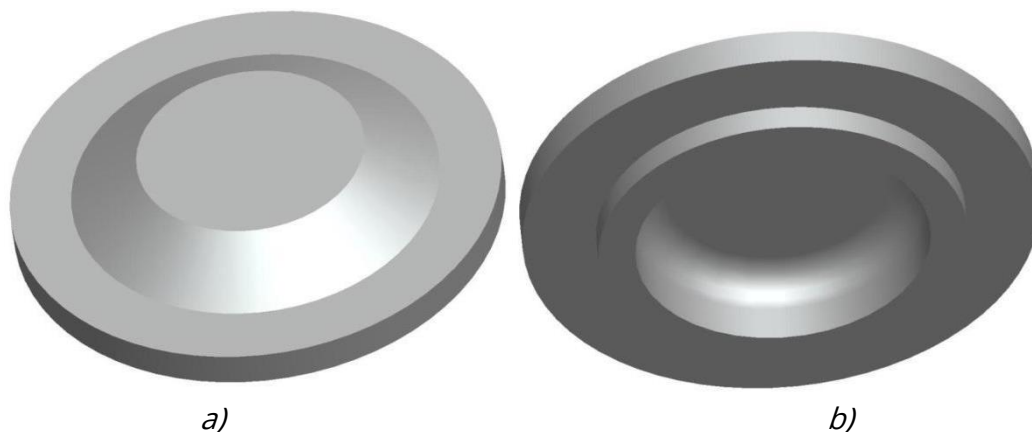


Fig. 2.15 The component without precast holes in axonometry

Choosing the parting plane:

The parting plane is marked by solid green line finished by crosses and the direction of forming. For the component, the parting plane is in the widest point of the component (Fig. 2.16).

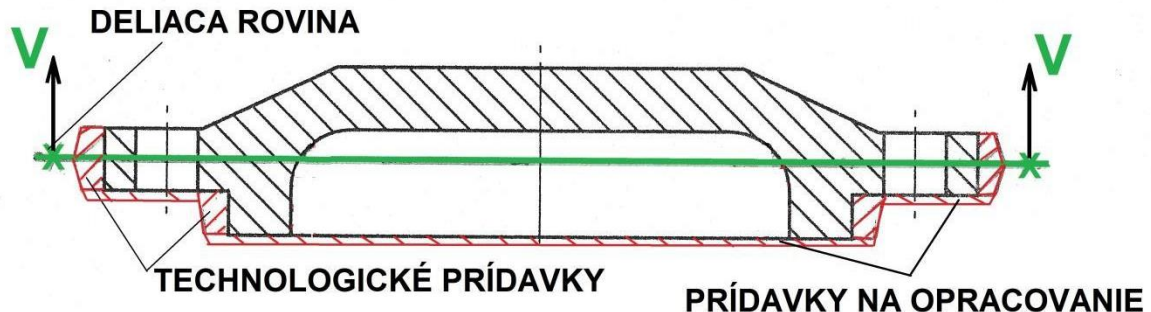


Fig. 2.16 component with parting plane and allowances

Legend: deliaca rovina - parting plane, technologické prídavky - technological allowances, prídavky na opracovanie - machining allowances

Choosing machining allowance

Machining allowances are marked in red in the drawings. The allowance is on the surfaces with established roughness which cannot be achieved by casting. These allowances are removed from the cast by chip machining.

Design of technological bevels

In order to facilitate the removal of the pattern from the mould, it is necessary to use technological bevels of C type in accordance with STN 04 2021 (Fig. 2.17).

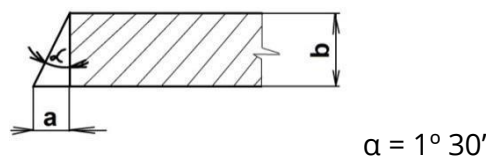


Fig. 2.17 Technological bevel - C type

Deciding on the necessity of pre-casting holes

For the component in Fig. 1.16 it is necessary to pre-cast a hole, since it is a one-off production and the condition of $d > 50$ mm is met.

For grey cast, it holds true that:

$$S_L: d < 0.3 \cdot h + 10 \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

where : d - hole diameter,
 h - height of hole,

holes for screws (Fig. 2.14):

$$10 < 0.3 \cdot 10 + 10$$

$10 < 13 \Rightarrow$ it results that the holes are not pre-cast

Lid cavity (Fig. 2.15b):

$$80 < 0.3 \cdot 20 + 10$$

$80 > 16 \Rightarrow$ the hole must be pre-cast

Choosing moulding box:

Moulding box dimensions are determined based on the pattern and gating system dimensions. The pattern distance from the edges of the moulding box is shown in Fig. 2.18.

Moulding box lid dimensions:

Upper part HR LxBxH1: 400x300x100 [mm]

Lower part DR LxBxH2: 400x300x140 [mm]

Gate length is 100mm.

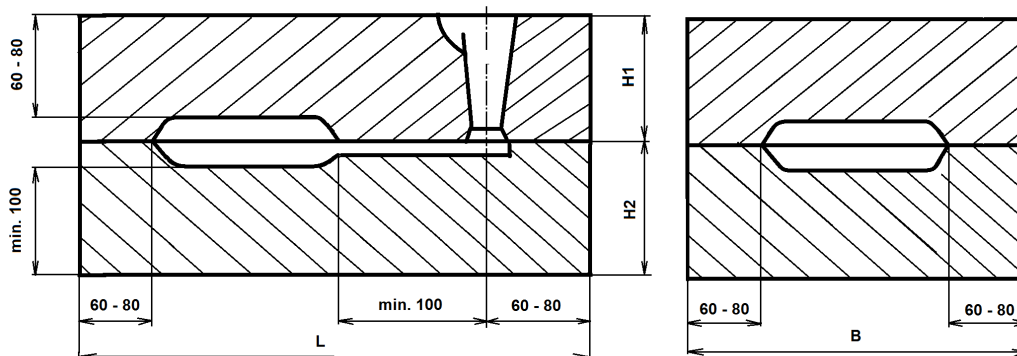


Fig. 2.18 Recommended moulding box dimensions

Calculation of gating system

Calculation of gating system is based on simplified hydrodynamic equation.

Calculation of the gate area S_z :

$$\sum S_z = x \cdot \frac{\sqrt{G}}{\sqrt{HP}} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.4)$$

where: S_z - the overall gate area,

G - weight of casting,

x - coefficient considering wall thickness + complexity of casting (see Tab. 2.3.)

For the given component, $x = 2.8$.

Tab. 2.3 Coefficient x

Casting wall thickness [mm]	Simple castings				Complex castings		
	3 – 4	5 – 9	9 – 15	> 15	3 – 4	5 – 9	9 – 15
x	3.8	3.2	2.8	2.4	5.8	4.9	4.3

Calculation of casting weight with gating system:

$$G = 1,5 \cdot m_o \quad [\text{kg}] \quad (2.5)$$

where: G – casting weight with gating system for which $0.5m_o$ [kg],
 m_o – casting weight

$$G = 1.92 \text{ kg}$$

Calculation of mean ferrostatic height:

$$H_p = H - \frac{p^2}{2 \cdot C} \quad [\text{cm}] \quad (2.6)$$

$$H_p = 10 - \frac{1,8^2}{2 \cdot 3,0}$$

$$H_p = 9.46 \text{ cm}$$

where: C – casting height [cm],
 H_p – mean ferrostatic height [cm],
 p – casting height above the gate [cm],
 H – runner height above the gate [cm],

Calculation of gate area:

$$\sum S_z = x \frac{\sqrt{G}}{\sqrt{HP}} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.7)$$

$$\sum S_z = 2,8 \frac{\sqrt{1,92}}{\sqrt{9,46}} = 1,26 \text{ cm}^2$$

For the area of one gate, it holds true that:

$$S_z = \frac{\sum S_z}{n} = \frac{1,26}{2} = 0,63 \text{ cm}^2 \quad (2.8)$$

where: n – number of gates

For calculating the gate and trap area of simple castings, it holds true that:

$$S_K > S_L > \sum S_z = 1.4 : 1.2 : 1 \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} S_K &= 1.4 \cdot \sum S_z & S_L &= 1.2 \cdot \sum S_z \\ S_K &= 1.76 \text{ cm}^2 & S_L &= 1.51 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

where: S_K – runner area [cm²]

S_L – dirt trap area [cm²]

Runner has a circular cross-section, therefore it is calculated as follows:

$$S_K = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ then } d = \sqrt{\frac{4S_K}{\pi}} \quad [\text{cm}] \quad (2.10)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,54}{\pi}} = 1.4 \text{ cm}$$

In practice, vacuum runners of a conical shape with a peak angle of 3 – 5° are used.

For calculating the dirt trap dimensions (Fig. 2.19) it holds true that:

$$S_L = 0.935 \cdot a^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2.11)$$

$$a = \sqrt{\frac{S_L}{0,935}} \quad [\text{cm}] \quad (2.12)$$

$$a = \sqrt{\frac{1,51}{0,935}} = 1.27 \text{ cm}$$

In gating system design it is necessary to ensure that the lower diameter of the gating system is identical with the width of the dirt trap on the upper part. The dirt trap dimensions will be calculated as follows:

$$0.7a = d_{\text{runner}} = 1.4 \text{ cm} \quad (2.13)$$

$a = 2 \text{ cm}$.

Height of a trapezium dirt trap is calculated as:

$$S_L = \frac{0,7a + a}{2} \cdot v \quad [\text{cm}^2] \quad (2.14)$$

$$v = \frac{2 \cdot S_L}{0,7a + a} \quad [\text{cm}] \quad (2.15)$$

$$v = \frac{2 \cdot 1,51}{1,4 + 2} = 0,89 \text{ cm}$$

where: v – dirt trap height

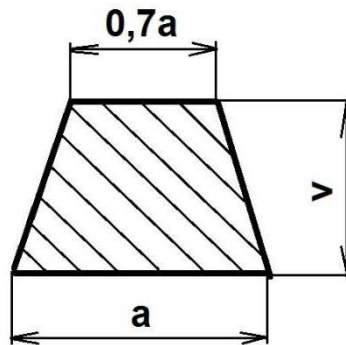


Fig. 2.19 Dirt trap cross-section

For calculating gates dimensions in Fig. 2.20 it holds true that:

$$S_z = 0,285 \cdot R^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2.16)$$

$$R = \sqrt{\frac{S_z}{0,285}} \quad [\text{cm}] \quad (2.17)$$

$$R = \sqrt{\frac{0,63}{0,285}} = \underline{1,48 \text{ cm}}$$

where: R – gate radius

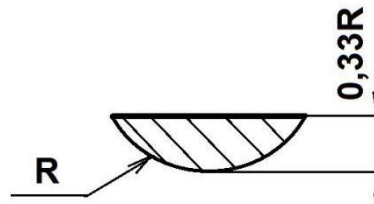


Fig. 2.20 Gate cross-section

Whistler, which is mostly situated on the highest surface of the component cast has a conical shape (as well as the runner). The peak angle of the cone is 2 – 4 °.

Based on the calculation, it is possible to make a wooden pattern of the component and gating system. The bottom of the component and core pattern can be formed in the drag (as shown in Fig. 2.21).

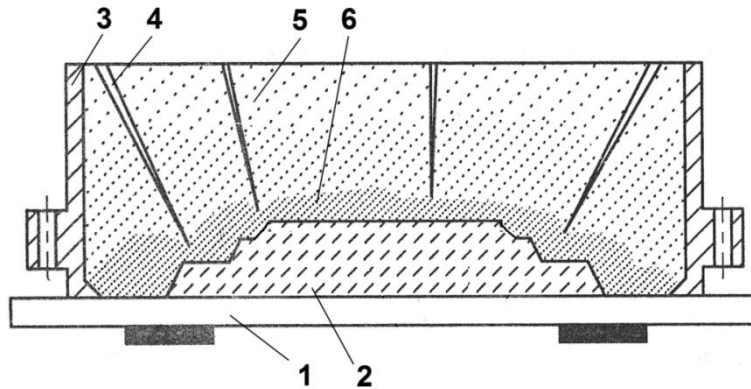


Fig. 2.21 Forming of the pattern bottom

1 – plate, 2 – lower part of wooden split pattern, 3 – lower mould frame, 4 – air channels, 5 – backing moulding sand, 6 – modelling mixture

After forming the bottom of the pattern, the bottom frame is turned and attached with the top (Fig. 2.22). At the distance of at least 100 mm from the pattern, dirt trap is placed.

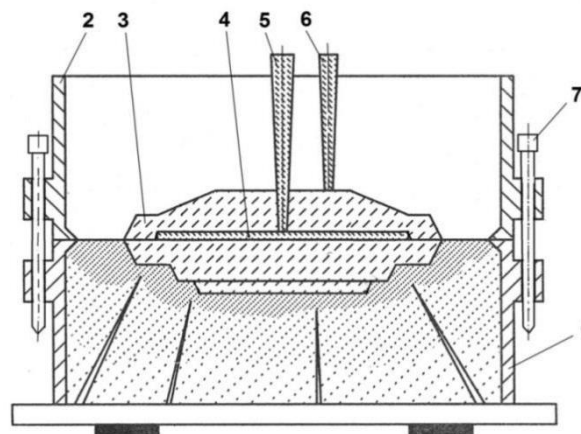


Fig. 2.22 Forming upper part of pattern

1 – lower mould frame, 2 – upper mould frame, 3 – upper part of wooden split pattern, 4 – slag channel, 5 – runner, 6 – whistler, 7 – distance pins

On dirt trap, a pattern of runner is moulded into facing and then backing sand. Similarly, a whistler pattern is formed, as well (Fig. 2.23). The length of both patterns exceeds the upper part of the moulding box in order to facilitate their removal from the mould. After forming, the moulding sand is stamped e.g. by pneumatic stamper, and air channels are created in the moulding sand. Besides the runner, pouring basin is created in the moulding mixture.

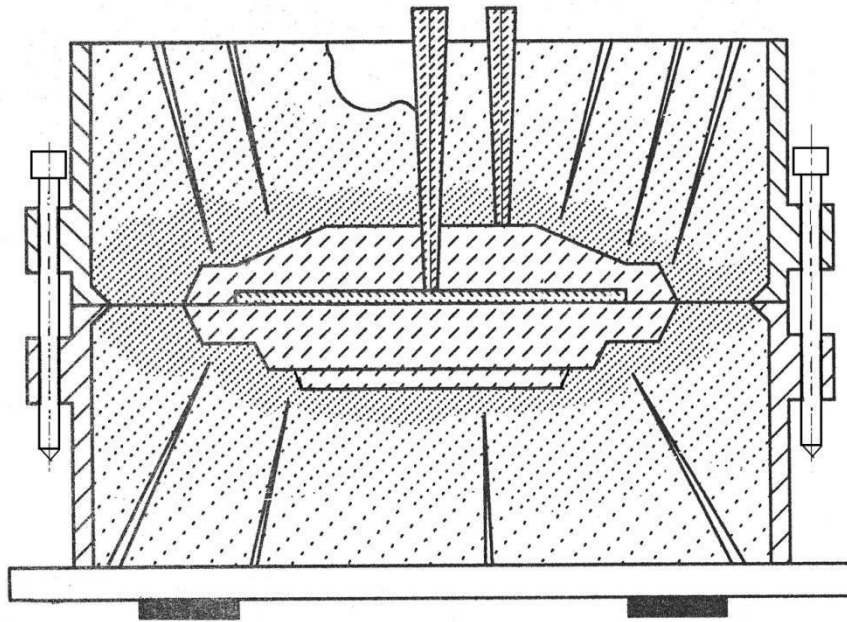


Fig. 2.23 Formed pattern with gating system in split mould

After stamping, it is necessary to remove wooden patterns from the sand mould. First the whistler and gating system patterns are removed (Fig. 2.24). Then distance pins are removed and the mould can be dismantled in the parting plane (Fig. 2.25).

From the upper and lower part of the moulding box, the wooden pattern of the component and the dirt trap is removed (Fig. 2.26). In the cavity of the lower part of the form, gates are made using forming tools (see Fig. 2.21).

The upper and lower part of the mould are connected using distance pins and its edges are loaded with a weight that prevents mould moving during the casting process (Fig. 2.27).

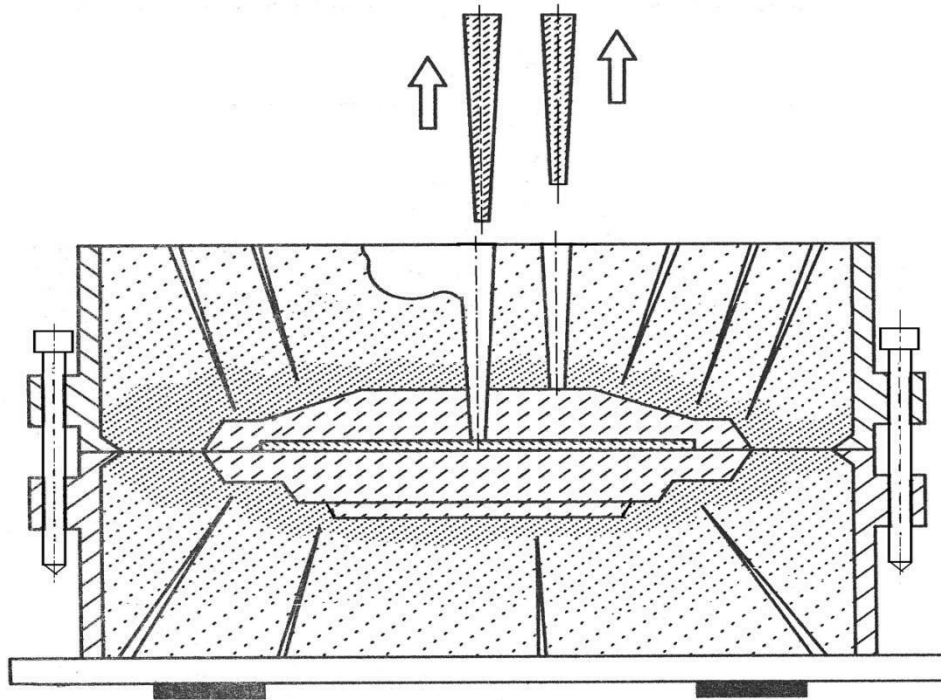


Fig. 2.24 Removing gate and whistler before mould dismantling

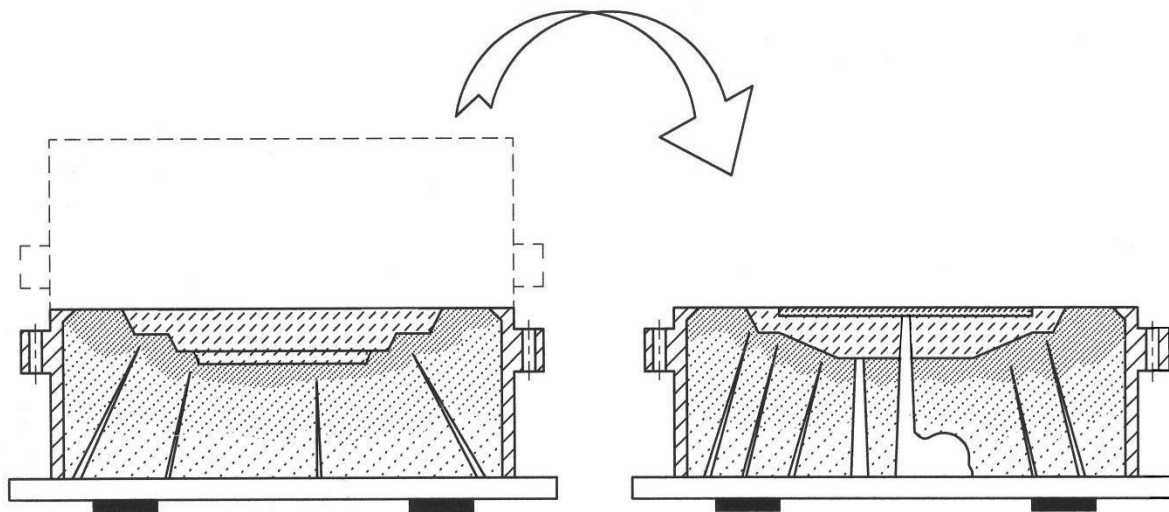


Fig. 2.25 mould dismantling in order to remove patterns of component and gating system

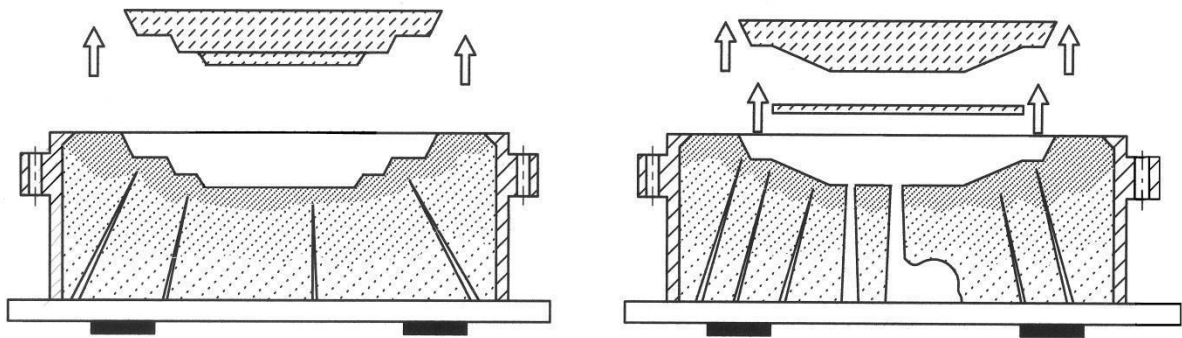


Fig. 2.26 Ejection of split pattern, gate, and dirt catcher from mould

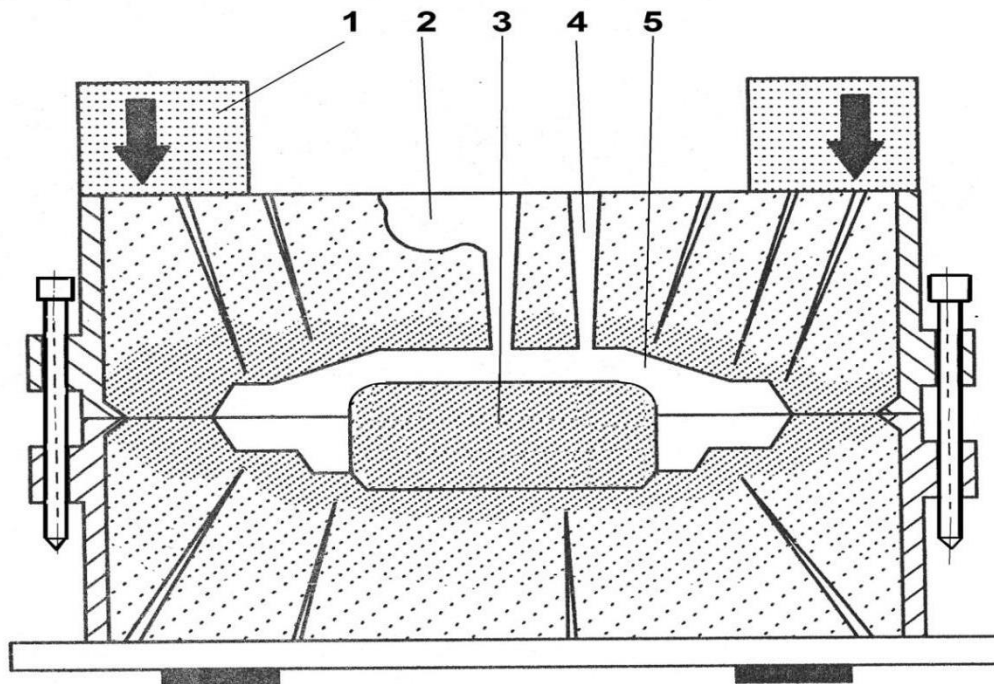
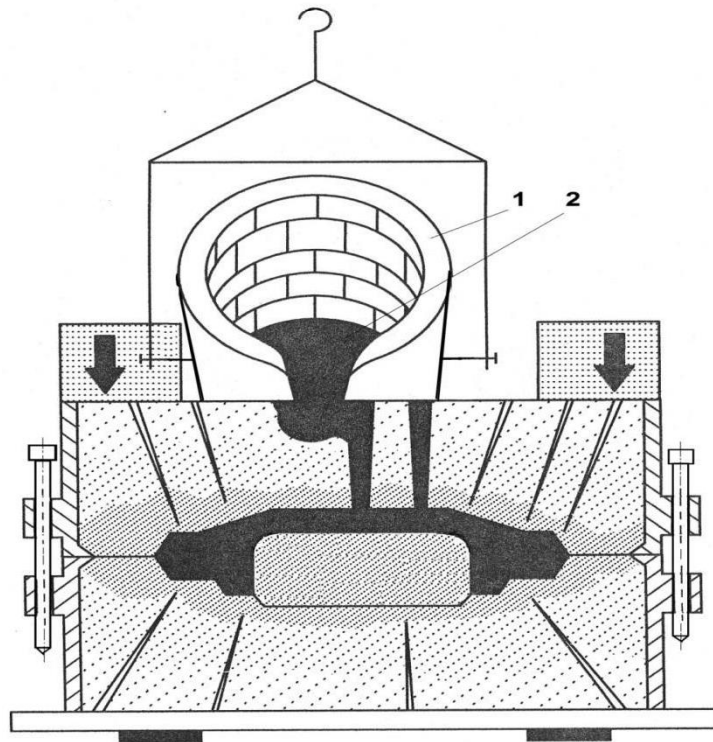


Fig. 2.27 Assembling the mould before casting

1 – loading mould with weight, 2 – cavity of pouring basin and runner, 3 – core, 4 – whistler cavity, 5 – component cavity

After assembling and loading the mould, the casting is cast from tilting ladle. Into the pouring basin, grey cast is poured, that gets into the mould cavity via runner. During the casting process, the whistler conducts air and vapours. The casting process is completed when the melted metal fills the whole whistler cavity (Fig. 2.28).



*Fig. 2.28 Casting into sand mould
1 - tilting ladle, 2 - melted metal*

The mould is dismantled after the casting cooling, and raw casting (Fig. 2.29) is treated with a finish and subsequent machining in order to achieve the required dimensions (see Fig. 2.14).

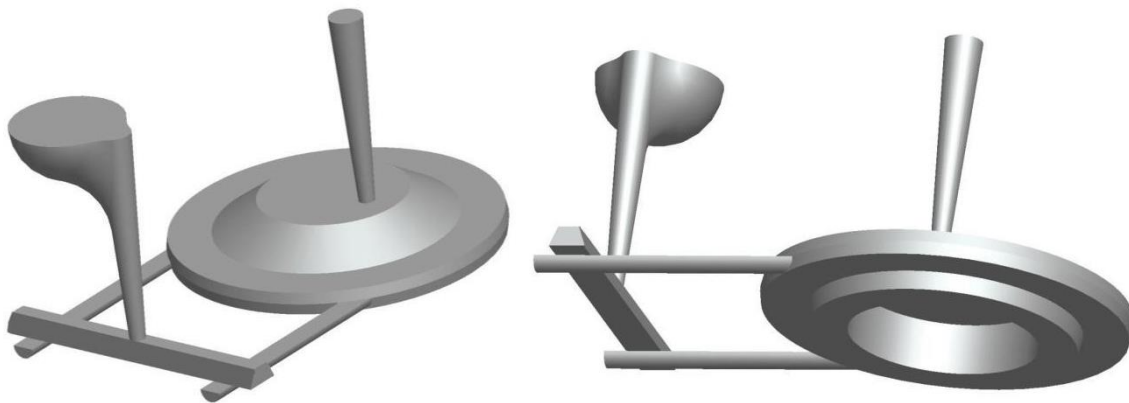


Fig. 2.29 Raw casting

3. Casting solidification and cooling

3.1. Casting properties of metals and alloys

Fusibility

Fusibility is the ability of material to pass from solid to liquid state while maintaining its chemical composition and purity.

Fig. 3.1 and 3.2 show the heat consumption for melting and heating the cast

Amount of heat:

$$Q = c_s(t_L - 20)m + m \cdot l_T + c_s'(t_p - t_L)m \quad (3.1)$$

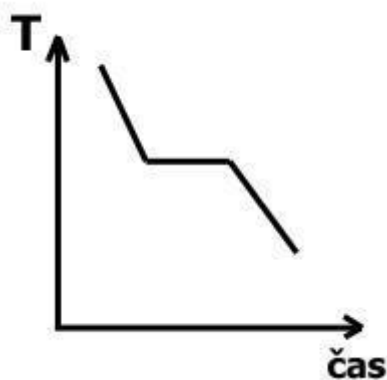


Fig. 3.1 Cooling pure metal

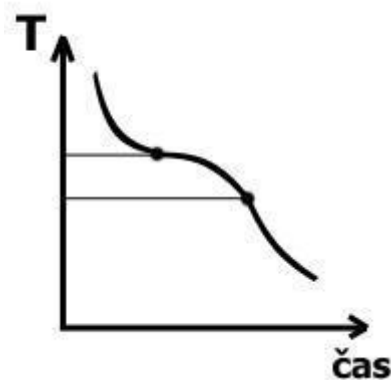


Fig. 3.2 Cooling alloy

Fluidity

Fluidity is the inverse value of dynamic viscosity.

$\varphi = 1/\eta$, where η is dynamic viscosity.

- fluidity is measured as filling the mould before the melt solidifies. The cast fluidity is increased by phosphorus (grey cast). Phosphorus is a negative element, acting positively only in the case of increasing melt fluidity.
- Segregation is separating individual components during solidification. It is caused by partial or complete insolubility of two metals or alloys, e.g. leaded bronze (Cu-Pb); $T_{TAV-Cu} = 1083^\circ\text{C}$ and $T_{TAV-Pb} = 327^\circ\text{C}$
- The ability to absorb gases is the solubility of gases in metals. It increases with increasing temperature + vice versa.

Shrinking

Shrinking is a property showing in changing volume / dimensions; dimensions diminish with decreasing temperature (Fig. 3.3 and Fig. 3.4).

Specific weight

Solid steel $\rho=7.8 \text{ kg.dm}^{-3}$, molten steel $\rho=6.8 \text{ kg.dm}^{-3}$

Solid grey cast $\rho=7.25 \text{ kg.dm}^{-3}$, liquid grey cast $\rho=6.9 \text{ kg.dm}^{-3}$

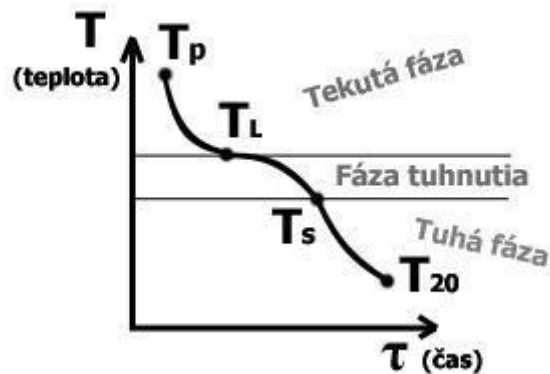


Fig. 3.3 Shrinking in liquid state, during solidification, solid state

$T_p - T_L$ - shrinking in liquid state - solved by pouring, reservoir of liquid metal

$T_L - T_s$ - shrinking during solidification - solved by feeding or chill

$T_s - T_{20}$ - shrinking in solid state - model is manufactured bigger by shrinking

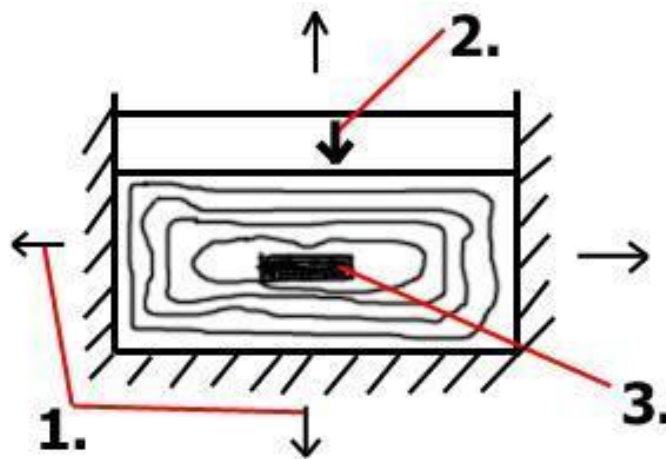
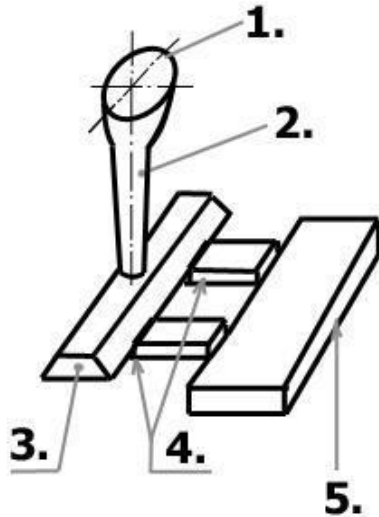


Fig. 3.4 Shrinking

1. Conducting heat away, 2. Drop of surface, 3. Shrinking - formation of shrinkage

3.2. Foundry forming materials and gating system of casting

Gating system – Fig. 3.5



1. Gating system
2. runner
3. dirt trap
4. gates
5. casting

Fig. 3.5 Gating system

Runner is narrowed by 2-4°.

For pouring melt, two basic types of ladle are used:

- Tilting ladle
- Bottom pour ladle – more expensive, complicated maintenance; used for steel; impurities are captured on the surface of melt, therefore dirt trap is not necessary

Dirt trap is not used for steel.

Gates can be of various cross-sections – square, triangle, semi-circle. Gates in the mould cavity must be placed so that the melted metal does not strike the face of the mould or does not fall from higher distance to the mould bottom.

Whistler conducts gases and vapours away, signals filling of the mould, dampens the strike of liquid metal at the moment of cavity filling. For its manufacturing, model (pin) is used (Fig. 3.6).

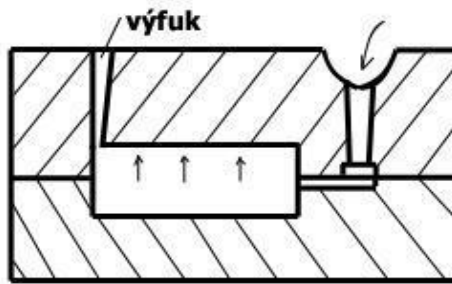


Fig. 3.6 Filling the mould cavity. Výfuk – whistler

Castings:

- Raw casting - vypadne z formy
- Rough casting – machined, without a whistler and gating system
- Finished casting – abraded, completely machined

Moulding sand

It is used for manufacturing expendable moulds. They consist of binder and sand. Binder is used for creating a compact mixture by wrapping and bonding the sand grains.

Moulding sands are:

- Natural: SAND – silica and siliceous sands on the basis of SiO_2
- BINDER – using binder, medium-strong sand, strong sand, very strong sand
- Synthetic: SAND - natural (silica sand) and artificial (fireclay, magnesite)
- BINDER - anorganic (cement, gypsum, water glass, clay) and organic (oils, bitumen, carbohydrates)- binder with natural or artificial sands.

Moulding mixtures properties:

- physical (conductivity, expansion)
- chemical (low reactivity with melt metal)
- technological
 - in forming: adhesion, fluidity, durability, dimensions accuracy
 - in casting: mechanical
 - breathability
 - properties during removal of mould

Manufacturing of moulds and cores is conditioned with moulding mixture properties:

- Formability – the ability to receive a shape of a model, thereby enabling to create

- a mould corresponding to the shape of the casting
- boundedness – the ability to retain the shape given by forming and transmit force resistance so that the mould retains the same dimensions
- breathability – the ability to release gases and vapours generated during casting
- strength after drying – raw binding is not enough, so complicated forms and cores the boundedness values are increased by drying
- Refractoriness – depends on chemical composition and presence of harmful fluxes
- Granularity – conditioned by the size of sand grains and the type of the metal cast – size of casting and required surface quality
- Chemical resistance – affects the quality of the casting surface; chemical effect is manifested by the reaction of acid oxides with bases
- disintegration – the ability to lose strength after casting; the casting can shrink after the casting process. This is due to the fact that some binders are burnt by acting of melt and stop binding sands

Unwanted properties:

- Stickiness – makes removing of the model difficult, damages the mould faces, model has to be covered with a special substance
- hygroscopicity – the ability to absorb moisture from the air
- Friability – lowers the boundedness during mould drying

Crystallization of metals – cooling curve – PURE METAL (Fig. 3.7)

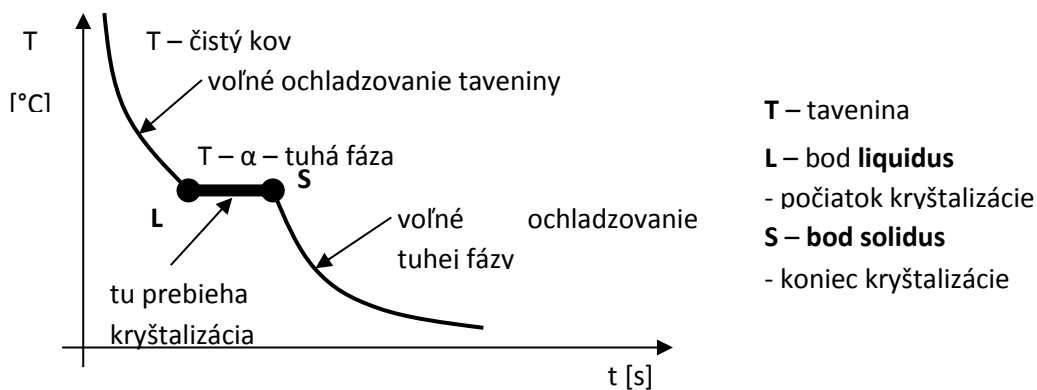


Fig. 3.7 Pure metal crystallization curve

Legend: čistý kov – pure metal, voľné ochladzovanie taveniny – free melt cooling, tuhá fáza – solid phase, voľné ochladzovanie tuhej fázy – free cooling of solid phase, tu prebieha kryštalizácia – process of crystallization, tavenina – melt, bod liquidus – liquidus point, počiatok kryštalizácie – start of crystallization, bod solidus – solidus point, koniec kryštalizácie – end of crystallization

Crystallization of metals – cooling curve - ALLOYS (Fig.3.8)



Fig. 3.8 Alloy crystallization curve

Recrystallization of metals – cooling curve

Recrystallization of metals: a change in a crystalline arrangement. A change of structure in solid state during the process of metal (alloy) cooling, e.g. Fe, Be, Sn, Ce, Ti etc.

Recrystallization: a change of crystal lattice in solid state

Cooling curve: function of temperature in dependence over time

Polymorphism: the ability of metal to crystallize in different structures in dependence over temperature

Allotropism: the ability of alloys to crystallize in various forms/ structures.

Process of transformation of metal structure in solid state – change of crystal lattice.

Metals crystallization - transformation of liquid state into solid state. It is related to the atoms arrangement in crystal lattice.

It consists of two stages:

- Formation of crystallization nuclei
- Nuclei growth

Nuclei:

- stable (when they reach a certain size)
- unstable

Crystallizing nuclei:

- from the basic phase
- extraneous (Al_2O_3 , TiO_2)

Crystallization course is influenced by two factors:

- ability to crystallize – the speed of nuclei formation at 1 cm^{-2} per sec.
- Speed of crystallization – nuclei growth speed is changeable

In casting, the mould top is lifted by a considerable force that results from the upward lift of the core and the pressure of the melted metal on the top of the mould. In the case of smaller castings, it is sufficient to attach the boxes to each other to form a single unit. In the case of bigger castings, a weight specifically created for this purpose must be used.

The casting process consists of pouring melted metal from the ladle transported to the mould by crane or trolley. For grey cast tilting ladle (Fig. 3.9) is used, while for steel for castings, bottom pouring ladle.

For the quality of the casting, casting speed is very important. The temperature of cast metal must be high enough so that the metal perfectly filled the mould even in the thinnest walls. The cast temperature affects the casting quality. The casting speed must be so high that the inlet is filled with melted metal during casting and filled up to the edge when casting is finished. This way the dirt, slag, and washed sand float on the surface and are not drawn into the mould. At the same time, it is necessary not to interrupt the casting process, otherwise there is a risk that the melted metal is covered with a layer of oxides that prevent perfect merge of metals.



Legend: tekutý kov – melted metal, ocelové těleso pánvy – steel body of ladle, výlevka – drain, závesné panty – hinges, sklopný mechanismus – tilting mechanism, viacvrstvá výmurovka – multi-layer lining, laity betón – cast concrete, šamot – firebrick, izolačná vrstva – insulation layer

4.Fusing

Fusing is a heat-metallurgical process during which the material (batch) changes its physical state from solid (solidus) to liquid (liquidus) as a result of adding or generating heat.

A certain amount of heat is required for this transition. The heat consists of heat Q_1 necessary for heating the whole batch volume from the normal temperature of the environment (T_0) to the temperature of melting metal (or the liquidus temperature T_L), heat Q_2 necessary for melting the whole volume of the batch, and heat Q_3 , necessary for heating the melt to certain temperature T_{pr} .

Pure metals melt and solidify at the same temperature (liquidus temperature = solidus temperature), alloys melt and solidify at a certain temperature interval (liquidus temperature is higher than solidus temperature).

Metal melting takes place in melting aggregates (furnaces).

4.1. Basic terms

Alloy is materials consisting at least of two elements, out of which at least one is metal, forming a solid unit in solid form. Alloy is formed by dissolving additives in basic liquid metal.

For castings production, binary, ternary, and multicomponent or poly-component alloys are used, where we can identify:

- Basic element (main alloying element), whose content is greater than 50% and is used for naming the alloy (zinc alloys, aluminium alloys, copper alloys, etc.)
- Alloying element (alloying additive), whose content in alloy is significantly lower compared to the basic element content.

The content of all alloy elements is defined by the relevant standard.

Alloying is a process in the production of alloy in which alloying elements are added in liquid metal. In alloying, the proportion of one or more elements is increased, which improves some properties of the casting.

The opposite of alloying is dilution – a certain alloying element is diluted if its concentration is too high in the melt, that is, if it exceeds the maximum permissible concentration limit. Usually, a pure metal is added, which increases the proportion of the basic metal and also the reduction of the alloying elements proportion.

Additives (impurities) – are elements whose presence in the alloy is unwanted. Mostly those are other elements except for alloying materials.

4.2. Metals melting

For metals melting, various types of melting devices are used. The decisive factors in choosing the suitable type of device are cost-effectiveness and technology requirements for production of metal or alloy. The most important technology parameters include:

- The power of melting device
- Content, design, and type of device
- Method of the melting device heating (gas, liquid or solid fuel, or electrical heating)
- Method of heat exchange
- Movement of the melt in the work area
- Work temperature range, temperature changes
- Control and regulation
- Atmosphere and pressure
- Melting process time

A very important parameter is the exchange of heat in the furnace work space, carried out by means of radiating, flowing or conducting. Depending on the work temperature and furnace design, one of the heat exchange methods is predominantly used. E.g. in the case of furnaces with a minimum temperature of 1000°C, the main heat exchange method is radiation, while in the furnaces with a temperature range above 650°C it is conducting. In the heat exchange process, inwall plays an important role, as it is heated to a higher temperature than the batch due to the lower heat conductivity. The dimensions and shape of the work space are essential for the melting process and for the furnace performance. They are the main criteria determining the amount of the molten metal.

The movement of the melt in the work space is a useful phenomenon, as it causes balancing heat and weight gradients in the volume of the liquid metal. If the melt moves correctly there is no local overheating that has a negative impact on the quality of the melt, especially in the case of aluminium alloys. For uniform heat and homogeneous melt, spontaneous flow (convection) is sufficient.

Melting devices can be divided into melting and maintenance by their use, and into fuel (gas or solid fuel) and electric (arc, inductive, and resistance) by the method of heat generation.

4.3. Melting cast iron

The most common and most suitable device for melting cast iron with graphite flakes is a cupola furnace. The main problem in the case of producing cast iron in a cupola furnace is higher-quality types of cast iron production and environmental regulations which

some of the cupola furnaces ceased to meet. To achieve the required emission limits would require considerable investments; therefore, some foundry plants switched to the production of cast iron in electric induction furnaces.

Besides these two types of furnaces, it is possible (yet exceptionally) in electric arc furnaces and reverberatory furnaces.

- MELTING CAST IRON IN CUPOLA FURNACE
- MELTING CAST IRON IN FUEL – REVERBERATORY FURNACE
- MELTING CAST IRON IN ELECTRIC FURNACES (arc, induction)

4.4. Melting non-ferrous metals alloys

For melting non-ferrous metals alloys, especially aluminium alloys, the following types of furnaces are used:

- SOLID FUEL FURNACES
- ELECTRIC RESISTANCE FURNACE
- ELECTRIC INDUCTION FURNACE

Rational production in casting foundry plants requires only remelting of finished alloys (or their additional alloying) and their own returnable material. Unlike in foundry plants, in melting plants, various types of e.g. aluminium waste are re-melted. As batch material in foundry plants, finished alloys, pure metals for additional alloying, pre-alloys, metals with refining, protective, inoculation, and modification effects, own returnable material, and processing waste are used. In melting plants, aluminium scrap, pure metals, pre-alloys for additional alloying are used as a batch material.

The batch in both cases includes also non-metallic materials, salts used for:

- Additional alloying with certain elements
- Protecting the melt against oxidation and burn
- refining
- structure refining

5. Properties of melted metals and alloys

Foundry deals with the production of castings from metals and their alloys, the properties of basic and additional raw materials for their production, as well as the relevant aids and equipment.

Foundry is of key importance for mechanical engineering; in terms of production economics, it is the least expensive production methods in the case of complex casting shapes. It is the method to produce metal components, in which the melted metal is poured in a mould in whose cavity the melt solidifies and creates a raw casting.

After removing gating and boss system, a rough casting is obtained. After its machining according to drawing, clean casting is obtained. By foundry, it is possible to produce components and parts weighing between several grams to hundreds of tons.

According to subsequent processing of the casting, two basic types of castings are distinguished:

- Simple castings of circular, square or octagonal cross-section with rounded edges, intended for further processing by forming. They are called ingots or continuous castings. They are made by casting in metal moulds (chill moulds) or by continuous casting in crystallizers of square or rectangular cross-section. The solidified semi-finished product is further processed by rolling or forging. This subsequent forming changes the shape and the size of the original casting. It also significantly influences the physical and mechanical properties by removing various crystallization imperfections.
- Castings of machine parts and components – it's about obtaining a final, often very complex shape, as similar to the future component as possible. Physical and mechanical properties of castings are influenced mainly by chemical composition and the method of casting.

5.1. Technological properties of metals and alloys

Foundry properties are technological properties derived from complex acting of physical properties of metal and mould in casting, conditions of the casting process and design of casting. This is called castability, i.e. the ability to create a quality casting.

The most important properties include:

- meltability-the ability of metal to pass from the solid state to liquid state
- fluidity- depends on the mobility of melt particles at given temperature
- fluidity- the ability of the melt to fill thin sections in the active mould cavity
- shrinking- volume and dimensional changes in the active mould cavity
- separation – separating various structural components during the melt solidification.
- gas solubility- with increasing temperature, solubility of gases in the melt increases, while it decreases when cooling.

6. Metals and alloys in foundry and their marking

6.1. Materials used for casting production

The most commonly used materials for casting production include steel for castings, cast, and aluminium alloys. Physical properties of metals used for casting are shown in Table 1.

Table 1 Physical properties of metals used for casting

Metal	Melting temperature (°C)	Boiling point (°C)	Density ρ at (20 °C) ($10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
Steel for castings	1500 - 1550	-	7.8 – 8.0
Cast Al and its alloys	1150 - 1300	-	6.8 – 7.5
Cu and its alloys	660 - 700	2519	2.70
Mg and its alloys	1083	2562	8.96
Zn and its alloys	650	1090	1.74
Ag	419	907	7.14
Au	961	2162	10.49
Sn	1064	2856	19.3
	231	2601	7.2

For casting process, the melting temperature is a decisive factor. The melting furnace type depends on the type of the metal melted. For melting individual kinds of ferrous and non-ferrous metals, the following types of furnaces can be used:

Steel

- electric induction furnaces,
- electric arc furnaces,

Cast – cupola furnaces,

- cupola furnaces with hot air,
- reverberatory furnaces,
- duplexing (cupola furnace + electric furnace),
(cupola furnace + reverberatory furnace),

Al and its alloys – induction furnaces in which graphite-fireclay or metal tubes are located

Cu and its alloys

- bath furnaces,
- drum furnaces,
- crucible furnaces – solid, gas, and liquid fuel,
- induction crucible furnaces (most widely used) (Figure 1),
- channel furnaces,

Zn and its alloys – crucible furnaces with gas or electric resistance heating.

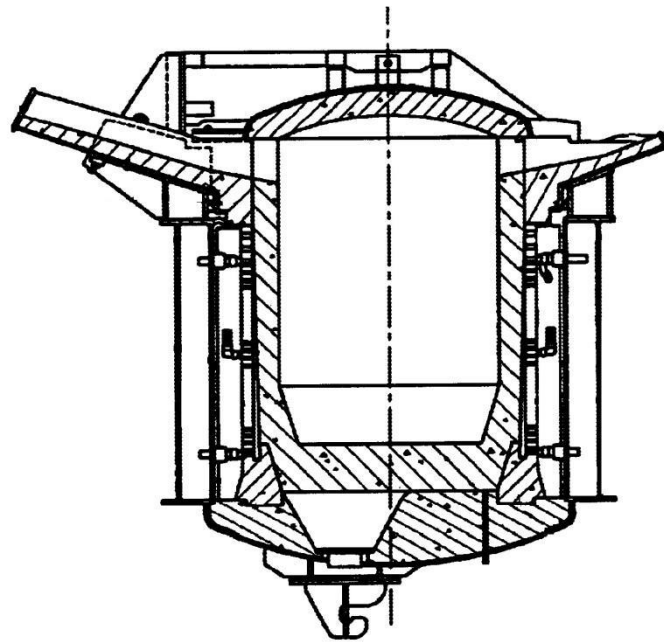


Figure 1 Induction crucible furnace

7. Production of castings

Technical preparation of production

The purpose of technical preparation is to ensure the necessary technological documentation for castings production.

Technological process is ensured by development office based on the drawing of clean casting.

Pattern maker determines the type of model or model equipment, splitting the model, allowances for machining and shrinking, type and splitting of core box, type of modelling sand, type and size of moulding frame, type and size of gating and feeder system, moulding technology, method of casting, cooling, and cleaning.

The design must take into account the number of castings and determine the work process accordingly.

The drawing with a pattern production process is called drawing of process / process drawing. Based on the drawing, the pattern shop makes a pattern which is sent through a pattern store to foundry plant. In the foundry plant, mould is made. After casting and cooling, the casting is removed from the mould, it is cleaned and the gating and feeder systems are removed, then it is checked and handed for dispatch. The example of making a simple casting is shown in Figure 2.

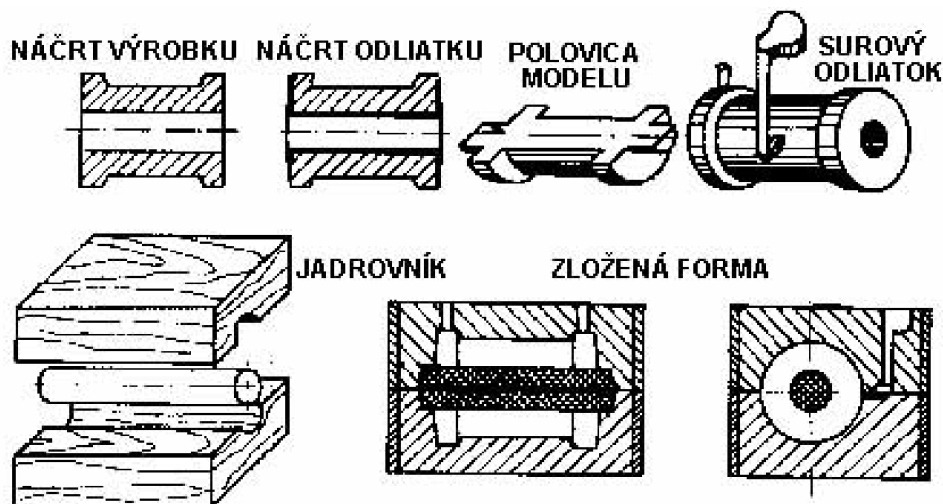


Figure 2 Production process of simple casting

Legend: náčrt výrobku – sketch of product, náčrt odlíatku – sketch of casting, polovica modelu – half of pattern, surový odlíatok – raw casting, jadrovník – core box, zložená forma – assembled mould

7.1. Technological process of casting production

The proposal of technological process of casting production is based on the design drawing of the machine member that is to be made by casting from a given material. Figures 3 - 6 show the proposal of components production process from the drawing to the assembled casting mould and the basic terms are explained.

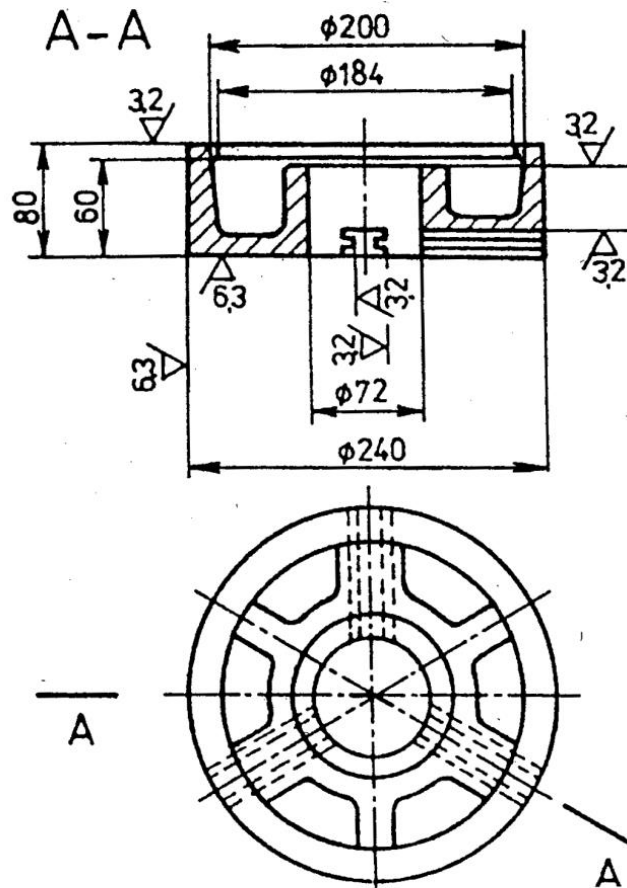


Figure 3 Sketch of finished component made of grey cast

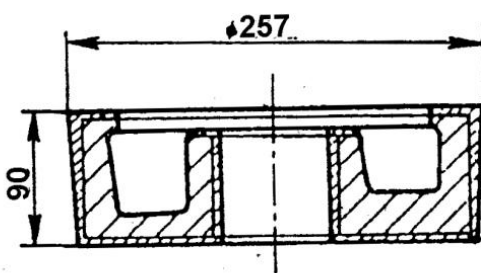


Figure 4 Sketch of raw casting half

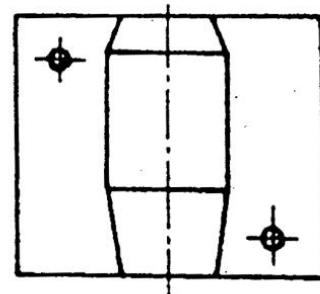


Fig. 5 Sketch of core box

(hatched area shows allowance for machining)

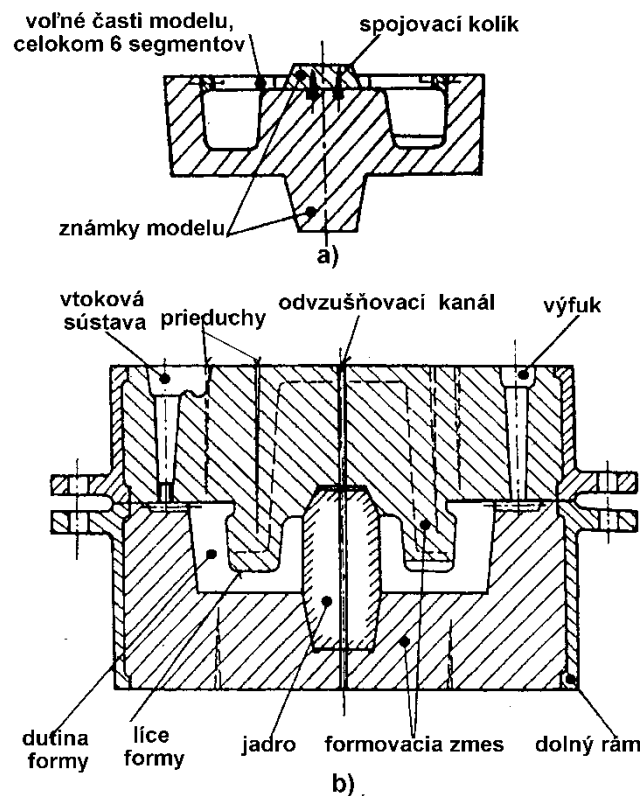


Fig. 6 a) Sketch of split pattern, b) Sketch of mould

Legend: voľné časti modelu, celkom 6 segmentov – free parts of pattern, in total 6 segments, spojovací kolík – pin, známky modelu – pattern print, vtoková sústava – gating system, prieduch – air channel, odvzdušňovací kanál – vent channel, výfuk – whistler, dutina formy – mould cavity, líce formy – mould face, jadro – core, formovacia zmes – moulding mixture, dolný rám – drag box

Description of technological process of casting production must contain the following:

- Chosen casting position in mould.
- Chosen parting plane.
- Chosen method of mould production in terms of:
 - Moulding mixture,
 - Methods used in foundry plant (green-sand mould, dry-sand mould, etc.),
 - Size, shape, and material of casting,
 - Type of production (manual, machine forming),
 - Special shape or use of castings (shell moulds, metal moulds, etc.)
- Chosen method of core production (the same aspects as in the case of moulds).
- Determined number and shape of cores.
- Determined casting method and calculation of gating system.
- Determining casting thermal nodes, determining the places for feeders and chills, calculation of feeder size.

- Determining production aids (type and number of patterns, bottom boards, moulding boxes, etc.).
- Determining the time of cooling in the mould.
- Determining casting heat processing.
- Determining the control and handover regulations according to STN or the customer's requirements.
- Technological data (casting temperature, casting time, loading moulds, etc.).

7.1.1. Choosing the casting position in the mould

Casting position is chosen according to:

- Directed solidification,
- Laying important areas of greater thickness in the bottom part of the mould, where there is the purest metal (in the case of grey cast castings). In the case of steel castings, the important areas of greater thickness are placed in the upper part of the mould (adding shrinking and solidifying metal from feeders),
- Reliable placement of cores,
- Placing thin walls in the bottom part at a certain angle or vertically.

7.1.2. Choosing parting plane

Parting plane is chosen according to the principle of:

- The smallest number of cores,
- Achieving minimum mould height,
- Placing the basic casting elements in one half of mould
- Placing the main cores in bottom part of mould,
- Obtaining straight parting plane.

8. Pattern making equipment

Pattern making equipment includes:

- patterns,
- pattern making tool,
- core boxes,
- bottom boards.

Pattern making equipment is made in pattern shop. Pattern making equipment is a equipment to prepare an active mould cavity which is bounded by the mould forms and inserted core walls.

The complexity of the equipment is given by the complexity of the casting, on which also depend the number and position of parting planes, placement of cores and prints.

Wooden pattern-making equipments are color-coded on the surface depending on the casting material to be used (Table 5.2).

Table 5.2 Colour marking of the surface of pattern making equipment

Casting material	Colour
Grey and ductile cast iron	red
Malleable cast iron	light blue
castings steel	dark blue
copper alloys	yellow
aluminium alloys	grey
magnesium alloys	green

The shape of the pattern-making equipment is determined by the shape and the size of the casting, by the method of mould and cores production, kind of casting material, and mould.

8.1. Patterns

Patterns are tools used to create a cavity in the mould. The shape and dimensions of the pattern are based on the shape and dimensions of the components increased by allowances.

The free parts of the pattern that would not allow its ejection from the mould are made in such a way that enables them to remain in the mould and are removed afterwards.

Shrinking of cast alloys

The dimensions of the patterns and cores are increased compared to the finished casting because of the expected shrinking of the casting. The overall allowances thus consist of shrinking, machining, and technological allowances (non-precast holes, reinforcement of walls towards the feeders, bevels, etc.).

Since the metals and alloys shrink during cooling, the pattern-making equipment shall be made bigger by the shrinkage of the given material. The shrinkage during solidification is different and depends basically on the chemical composition of the given metal, casting temperature, design of the casting and type of mould. The general values of the length shrinkage of alloys are as follows:

grey cast	0.7-1.2%	bronze	1.3-2.5%
casting steel	1.3-2.1	magnesium alloys	1.1-1.4%
brass	1.7-2.2%	aluminium alloys	0.8-1.5%

At the calculation is time-consuming, patternmaking metres are used, where the scale is increased by the shrinkage value.

Machining and technological allowances

Machining allowance is a layer of material on the outer or inner surface of casting that enables to achieve precise dimension and quality of the casting by machining. It is determined by means of STN 01 4980, and depends on the component dimensions, material, the degree of precision and position of the surface.

Technological allowance is a layer of material on the outer or inner surface of the casting that enables to achieve directed solidification or facilitates the production.

Patterns and castings bevels

Bevels serve to easily remove the pattern from the mould and the core from the core box. The walls that are perpendicular to the parting line are practically bevelled to $0.5 - 20^\circ$, based on the place and length to which the bevel is related. Depending on the rela-

tion of the bevel to the dimension of nominal dimension, we distinguish between bevels of the A, B or C types (Fig. 5.7).

Nominal dimension is the dimension given on the castings drawing. The deviations of the dimensions and shapes of the casting apply to it. For the areas to be machined, nominal dimension of the casting is the dimension including the machining allowance.

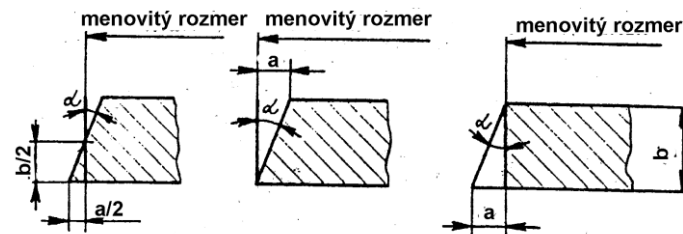


Figure 5.7 Foundry bevels – types A, B, C
Legend: menovitý rozmer – nominal size

Bevel A is usually used for rough surfaces; it is the most widely used bevel type. It does not have to be a part of the drawing.

Bevel B is used if it is possible to reduce the casting dimensions (reduction of weight). It has to be a part of the drawing.

Bevel C is used on machined surfaces or if it is not possible to reduce the casting dimensions. If the casting surfaces of the C bevel are not machined, the bevel has to be a part of the drawing.

8.2. Sweeping equipment

It is equipment for making moulds and cores consisting of a gib and the sweep pattern (Fig. 5.8). We distinguish between rotational, transverse and longitudinal sweeping.

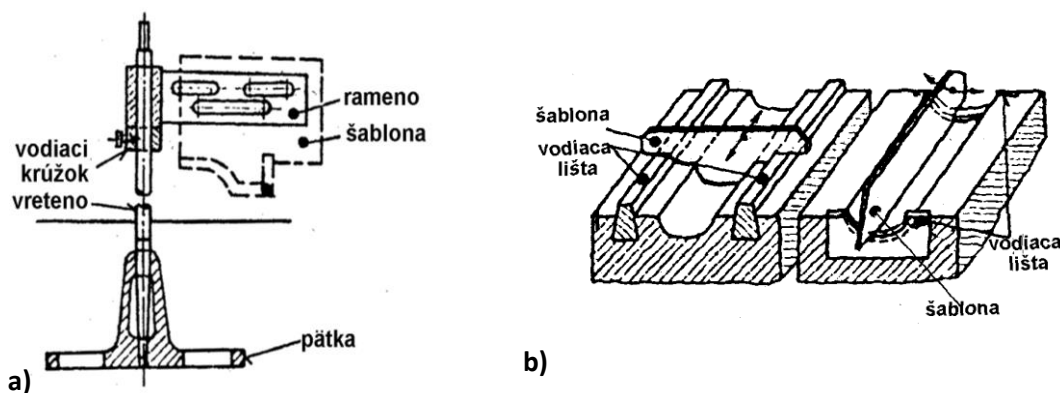


Fig 5.8 Sweeping equipment

a)- rotačná šablóna – turning sweep pattern, b)- transverse and longitudinal sweeping
 Legend: rameno – arm, šablóna – sweep pattern, vodiaca lišta – gib, vodiaci krúžok – guide ring, vreteno - spindle, patka – root

Core boxes

Mould cavity is created by means of a special part of the mould, called **core**, which is made in a pattern-making equipment – **core boxes** (see Figure 5.9).

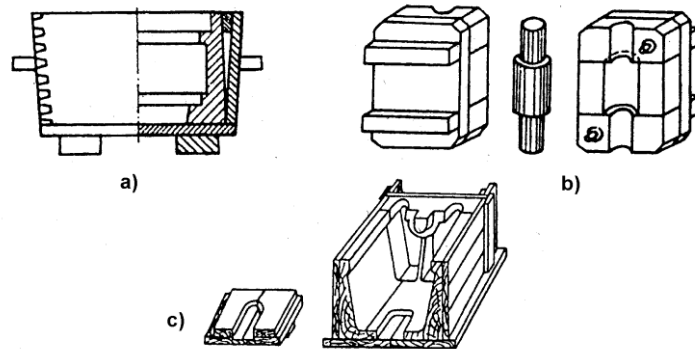


Figure 5.9 Core boxes a) case, b) – split, c) – frame core box with sleeve

To secure the position of the core and its displacement in the active cavity part, the core is placed by prints in the print beds created by the prints on the pattern (Fig. 5.9). The prints of the vertical cores have a conical shape.

8.3. Pattern boards

Pattern board is a plate on which the patterns or their parts are placed for manual forming.

In the case of machine forming (in series and mass production) pattern boards with a fixed half of the pattern, including the parts of the gating system models and pins are used. When producing a higher number of castings, especially in the case of machine forming, the production can be facilitated by placing half of the pattern on the pattern board. In the case of mass and series production, wood is not suitable.

9.Literature

ADAMKA, J. a kol., 1990. Základy strojárskiej technologie. Bratislava: Alfa. 172 s. ISBN 80-05-00023-5.

BLAŠČÍK, F. et al.: Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvárana. ALFA Bratislava 1988

HLUCHÝ, M., 1984. Strojárska technológia I. Praha: SNTL.

MURGAŠ, M. a kol. : Technológia zlievarenstva, Bratislava, STU, 2001

PUŠKÁR, A.: *Mikroplastickosť a porušenie kovových materiálov*, VEDA, Bratislava, 1986

VÁCHAL, J., M. VOCHOZKA a kol., 2013. *Podnikové řízení*. Praha: Grada publishing, a.s.. ISBN 978-82-247-4642.

VASILKO, K. a G. BOKUČAVA, 1991. *Technológia automatizovanej strojárskiej výroby*. Bratislava: Alfa. 275 s. ISBN 80-05-00806-6.

VELES, P.: *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*, Bratislava, 1989

ZDRAVECKÁ, E. – KRÁL, J.: Základy strojárskiej výroby. Košice 2004

<http://www.grafen.cz/auto/item/19-nove-technologie-pro-auta-budoucnosti>

MACHINE ELEMENTS AND MECHANICS

10. Introduction to joints in mechanical engineering

10.1. Joints

Joints – machine parts (components), whose main function is to **“join”** (HW) the components of a technical product (TS) in **combination** with other function related to **“momentum”**:

- **“not allow reciprocal movement”**, if the original parts could not be designed from one piece due to manufacturability, interchangeability, adjustability, transportability, reparability, disposability, etc.
- **“allow reciprocal movement”**, if the parts to be connected need to change their mutual position in order to ensure their function

Note:

However, if the function „to allow reciprocal movement“ is a priority, these joints are considered independent classes of machine parts in the CR, and in Czech language, they are referred to according to the movement allowed (unlike in English and German):

- sliding movement: line
- for rotating movement: fit

In the following chapters, „joints“ will thus refer to only „common joints“ where the priority is the function „to allow connection“ and function „to allow movement“ will be required partly or not at all:

- **rigid joints (not movable in operation)** (i.e. function „not allow reciprocal movement“)
- **movable joints** (i.e. function „to allow partial reciprocal movement“)

Note:

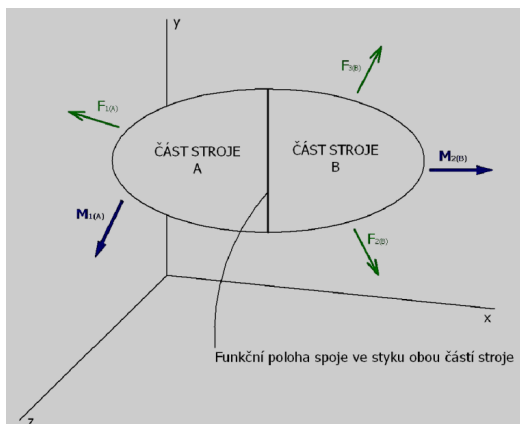
- The usual breakdown of „rigid joints“ into **„detachable“** and **„attachable“** is not

considered, since it is not a functional property or characteristics. This property (e.g. for assembly in production, and for dismantling & assembling in distribution, installation, maintenance, repairs and dismantling during disposal, etc.) is logically considered one of significant properties of (solid state) joints. The classification was thus simplified without neglecting this property.

- Note: in terms of machine parts, “**rigid joints**” refer to joints that (in operation) do not allow reciprocal movement of the parts or TS components being coupled or joined together
- For simplified illustration and designation of force loads applied **uniformly over the entire circumference** (e.g. clamp, friction surface, thread, etc.), the relevant variables are marked with index „o” written to the left of the relevant force mark, etc. (e.g Figure A 1.4-2)

1.1. External load of joint

It is calculated (after calculating external equilibrium TS!) as resulting effects of forces and moments acting on a part of TS on a side of a contact area of the joint in question (i.e. analogy as internal equilibrium corresponding to „section”). Usually, the side from which the solution is easier is chosen.



Legend: část stroje A – part of machine A, část stroje B – part of machine B, funkční poloha spoje ve styku obou částí stroje – functional position of joint at the place of contact of both parts of machine

Resulting force effects on the joint (from the “left” and “right” side):

$$\begin{aligned}
 F_{xSP} &= \sum_{(i)} F_{ixA} & F_{xSP} &= - \sum_{(j)} F_{jxB} \\
 F_{ySP} &= \sum_{(i)} F_{iyA} & F_{ySP} &= - \sum_{(j)} F_{jyB} \\
 F_{zSP} &= \sum_{(i)} F_{izA} & F_{zSP} &= - \sum_{(j)} F_{jzB}
 \end{aligned}$$

Resulting moment effects (from the moments and forces) on the joint (from the "left" and "right" side):

$$\begin{aligned}M_{x_{SP}} &= \sum_{(i)} M_{ix_A} & M_{x_{SP}} &= - \sum_{(j)} M_{jx_B} \\M_{y_{SP}} &= \sum_{(i)} M_{iy_A} & M_{y_{SP}} &= - \sum_{(j)} M_{jy_B} \\M_{z_{SP}} &= \sum_{(i)} M_{iz_A} & M_{z_{SP}} &= - \sum_{(j)} M_{jz_B}\end{aligned}$$

2.Screwed joints and threaded joints

2.1. Characteristics

(characteristic construction properties)

Dismountable connections of components on the principle of outer and inner threading.

By mounting of the outer threading, we distinguish between:

- **screw joints** (outer threading is created on the auxiliary joining part – screw)
- **threaded joints** (outer threading is created on one of the joining parts, inner threading is on the second one)

From now on, we will work only with more common screw (solid, i.e. immovable) joints „tightened“ (i.e. prestressed) during the assembly.

Notes:

- It shall be noted that in the literature, only important (mostly highly stressed) connections are referred to as prestressed connections. When designing and determining the properties of the connection, the main structure is modeled as a set of prestressed springs. In the case of less important prestressed („tightened“) screw connections, the influence of prestressing on increasing the outer stress is calculated in a simpler way by the coefficient depending on the screw diameter.
- The basic screw connection module is a single screw connection. Multiple screw connections are often referred to as flange joints (according to their most common design). What is important, however, is only the shape (and stiffness) of the contact area and adjacent parts of the connected components and the mounting and size of the connecting screws.

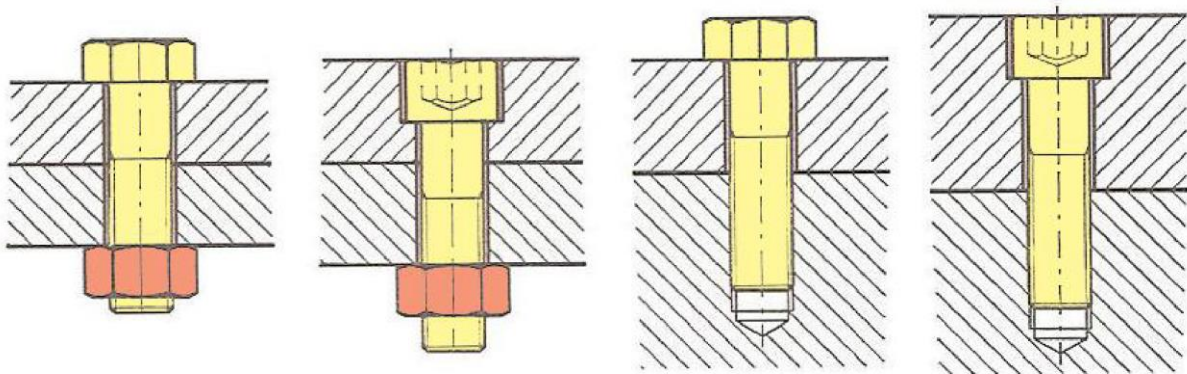
3. Structure

(basic construction properties)

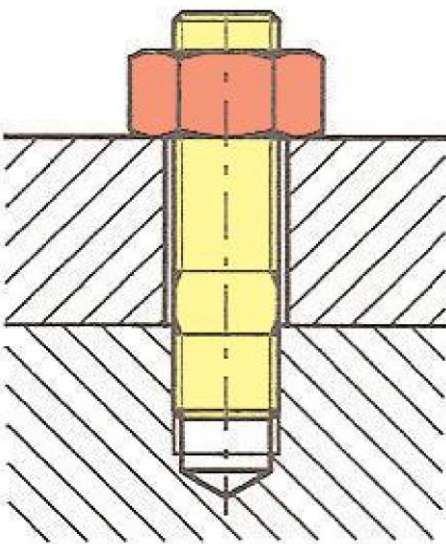
3.1. Typical Designs

A) Standard screwed joints

Connection by means of a screw with a head (with a nut and without a nut):

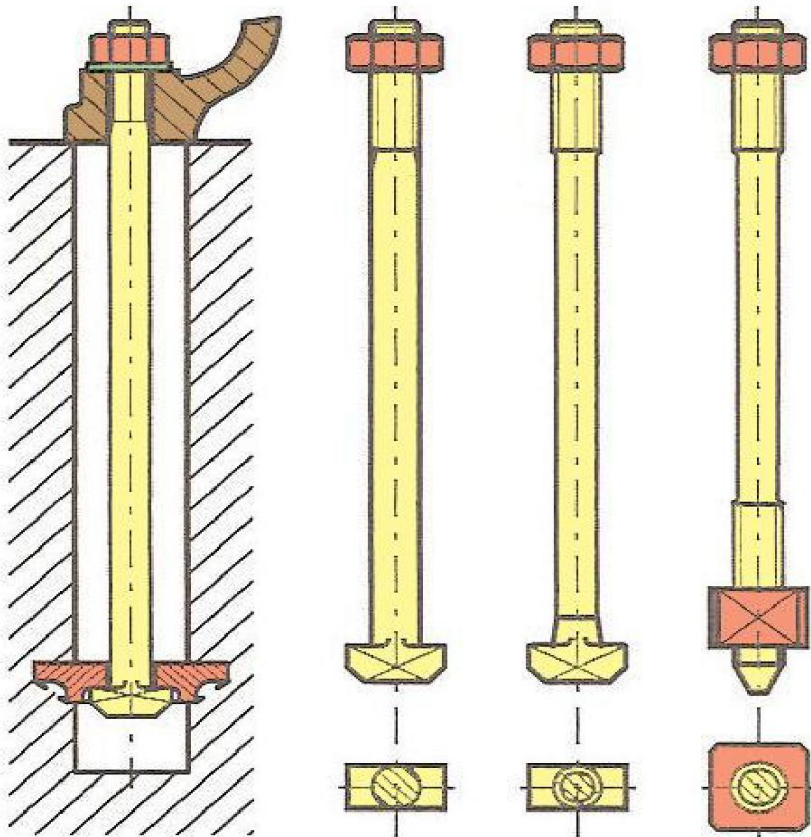


Connection by means of a stud (with a nut):

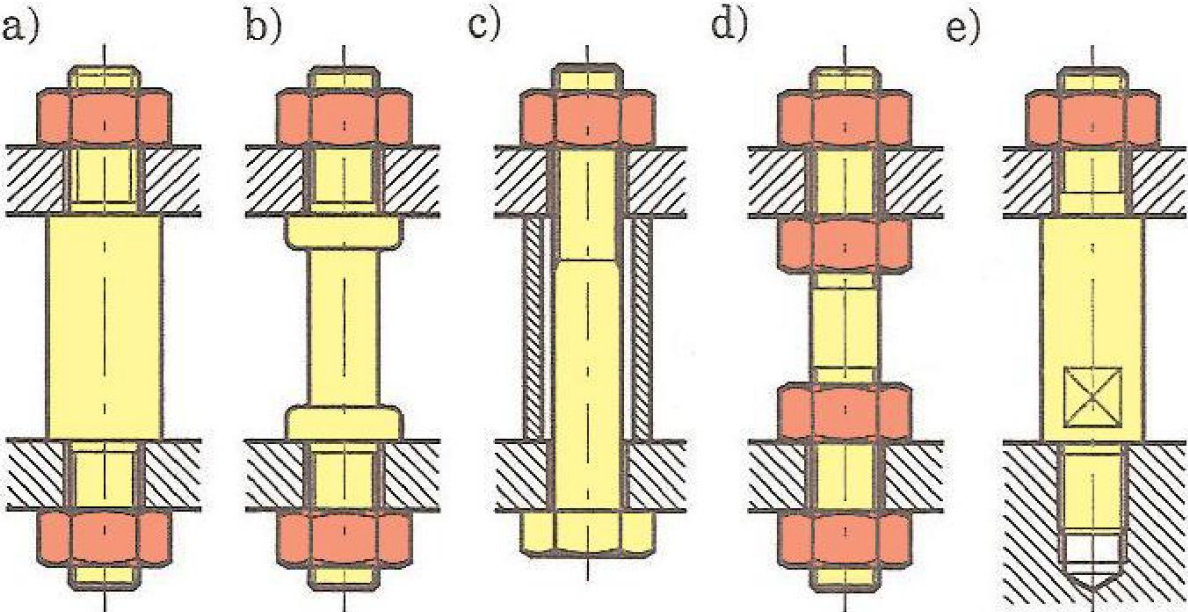


B) Special screwed joints

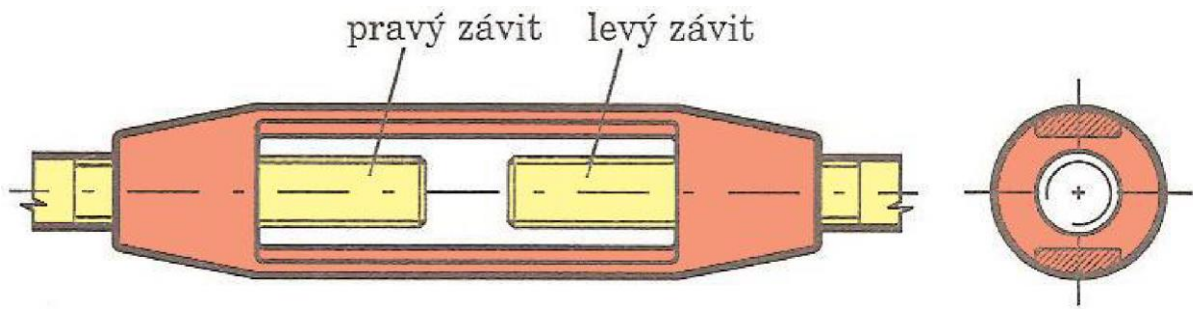
basic screwed joints:



Distance screwed joints:

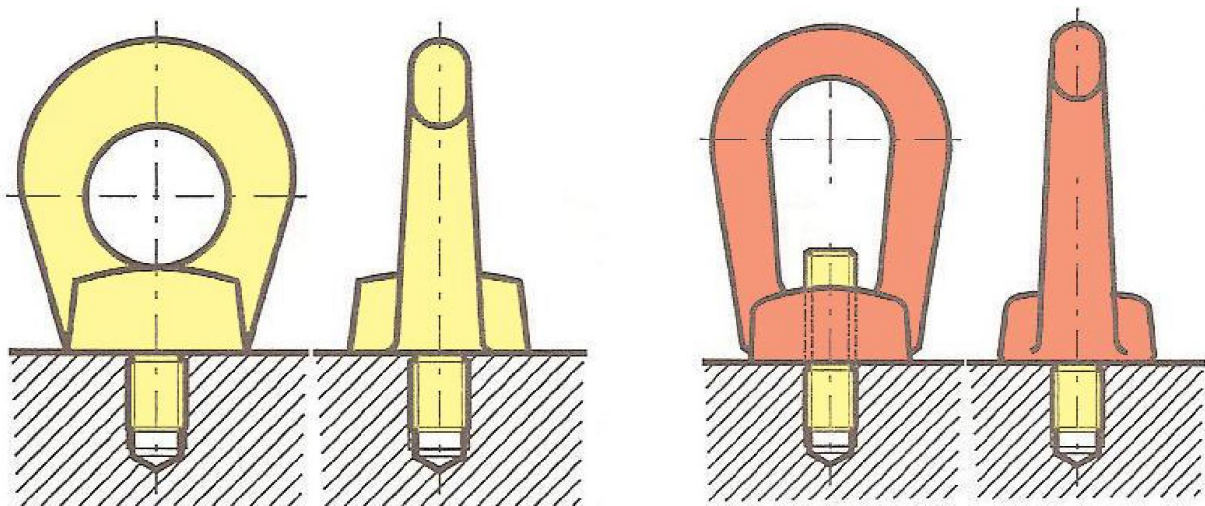


Tension screwed joints:



Legend: pravý závit - right threading, levý závit - left threading

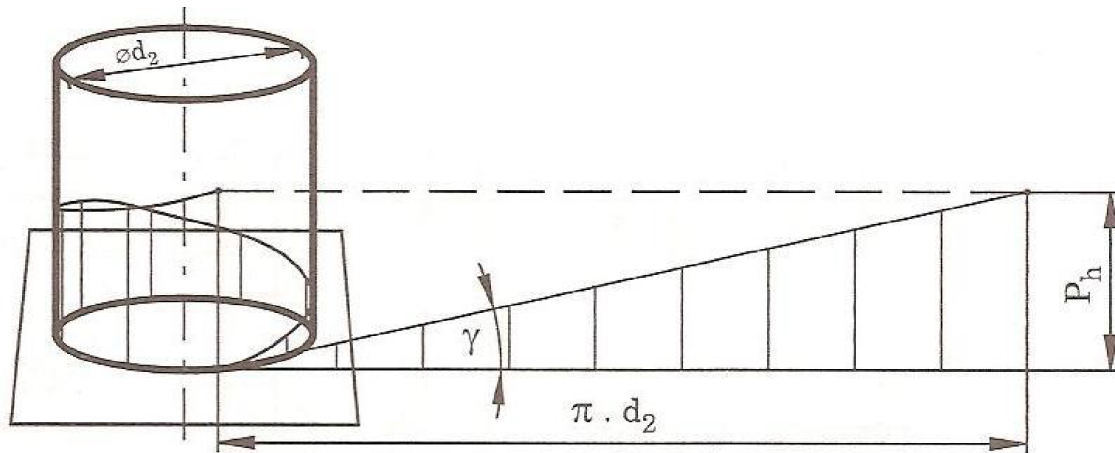
Suspension screwed joints (for "connecting" the machine part with a suspension eyelet):



Shapes, Dimensions and Tolerance of Screwed Joint Parts

Threading

Principle of threading (on a cylindrical surface):



$$\tan \gamma = P_h \pi \cdot d_2 \text{ [rad]}$$

where:

P_h [mm] ... degree of twist (Note: $P_h = n \cdot P$; where: n [1] ... number of thread turns)

P [mm] ... pitch

d_2 [mm] ... median diameter of thread 186

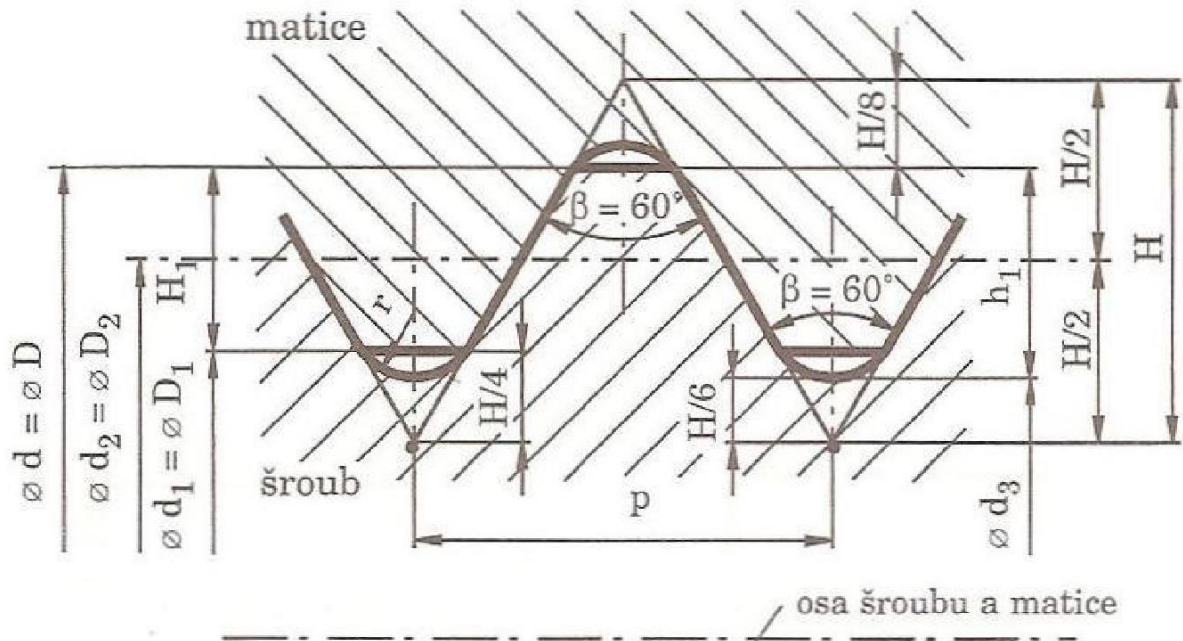
Threading types of screws connected (ČSN 01 4000):

- metric thread with a coarse pitch (ČSN 01 4008): M_d , e.g. M16
- metric thread with a fine pitch (ČSN 01 4013): $M_d \times P$, e.g. M16 x 1.5

Notes:

- for a left-hand thread: $M_d \times P$ LH, e.g. M16 x 1.5 LH
- for a multi-turn thread: $M_d \times P_h/n$, e.g. M16 x 3/2

Axial section (in the plane passing through the axle of the screw and nut):



Legend: matice – nut, šroub – screw, osa šroubu a matice – screw and nut axle

- d, D – large \varnothing of the screw and nut thread
- $d_2 = D_2$ – median \varnothing of the screw and nut thread
- d_3, D_1 – small \varnothing of the screw and nut thread
- h_1 – height of the screw and nut thread profile
- H – height of basic profile (theoretical profile)
- H_1 – working height of profile (depth)
- b – vertex angle
- P – thread pitch

Metric threads fitting

For all bearings (ČSN 01 4314 – according to ISO)

Degree of accuracy: 1 - 10

Position of tolerance field:

$d \pm p$ (for d_2 and d), e.g.: M16 7g6g

$C \pm H$ (for D_2 and D_1), e.g.: M16 5H6H

Examples of bearings: 5H6H / 7g6g

If there is a match, e.g. 6H6H / 6g6g, then: 6H/6g (common) 187

10.1.1. Material of Screws and Nuts

Basic rules

materials with high yield strength, especially in the case of screws;
for the same mechanical properties values, the material use depends on the method of making the thread (hot or cold forming, machining); therefore, instead of the kind of the material only the designation of the guaranteed mechanical properties for production is given:

Symbols of mechanical properties of screws and nuts**: x.y

x ...symbol of ultimate strength: numbers 4 - 12

y ...symbol of ultimate yield strength: numbers 4 - 8

Notes:

- Standardized mechanical properties of screws and nuts are marked with the first additional digit in the designation according to ČSN *

For the most common cases:

Shapes: screws and nuts ("socket head") with a cylindrical hexagonal head and inner hexagon

* first additional digit: .1 .5

** symbol of material: 5.6 8.8

$\sigma_{pt} \cong 100 \times \text{ozn. vel. } \sigma_{pt}$	500 MPa	800 MPa
$\sigma_{kt} \cong (0,6 + 0,8) \cdot \sigma_{pt}$	300 MPa (x 0.6)	600 MPa (x 0.8)
$\sigma_D \cong \sigma_{kt} / ([1,5 +] 2,5)$	120 [+ 200] MPa	240 [+ 400] MPa
$\sigma_{D\dot{s}} \cong 0,5 \cdot \sigma_D$	60 [+ 100] MPa	120 [+ 200] MPa - vliv vrubů závitu
$\tau_{D\dot{s}} \cong 0,6 \cdot \sigma_{D\dot{s}}$	40 [+ 60] MPa	80 [+ 120] MPa
vliv nerovnoměrného zatížení závitů:		
$p_{Dz} \cong 0,2 \cdot p_D \cong 0,2 \cdot \sigma_D$	20 [+ 40] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)
vliv pohybu:		
$p_{Dz \text{ poh zat}} \cong 0,2 \cdot p_{Dz}$	5 [+ 10] MPa	<— (rozhoduje materiál matice)

Legend: vliv vrubů závitu - influence of threading grooves, vliv nerovnoměrného zatížení závitů - influence of uneven thread load, rozhoduje materiál matice - matrix material is a decisive factor, vliv pohybu - influence of movement

Materials:

- less stressed joints: steel class 11 100 (11 109 and 11 100)
- commonly stressed joints: steel class 11 300 (11 340 and 11 370)

11 500 (11 500)

11 600 (11 600)

12 000 (12 040 a 12 050)

- highly stressed joints: steel class 13 200 (13 240)

14 200 (14 240)

15 200 (15 230)

- in aggressive environment: drawn brass class 42 3200 (42 3213 and 42 3223)

3.2. Properties

10.1.2. Characteristics of Complex Quality Properties

Operation, maintenance, repairs

- Transfer of all load types (transfer of tangential forces either by friction or fitted screws).
- Easy disassembly.
- Protection against loosening can be increased by structural changes.
- Reliability under dynamic load is reduced by the number of notches.

4. Load and strength operation

4.1. Operating load (max. load of screw joint) (rated)

Typical examples:

(SJ - screw joint, r - rated)

I. nSJ of screw joints is loaded \perp on the axis by force F_{total} :

(if the shear force is not captured by inserted elements by means of e.g. pins, springs, etc. or fitted screws)

$$F_{SJr} \Leftarrow F_{total} \cdot \frac{1}{n_{SJ}} \cdot f_{SF} \text{ indicatively } f_{SF} \in (1.5 \div 2.5) \quad (5.1 - 2)$$

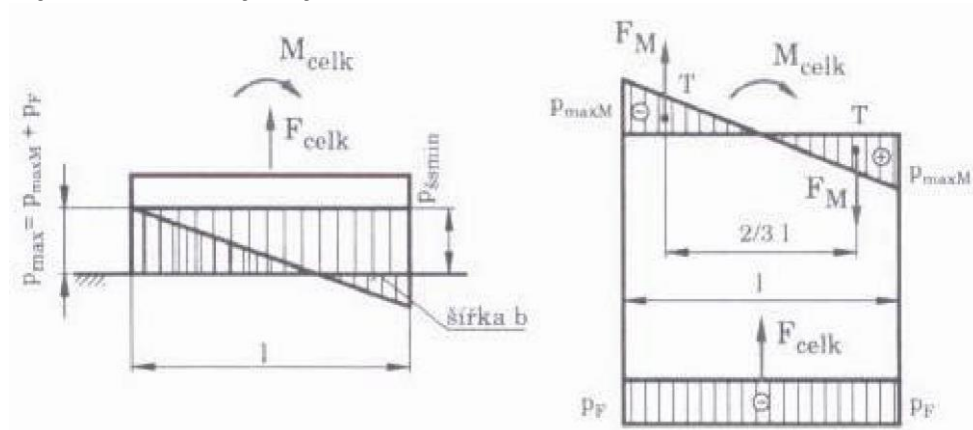
Note:

Since it is assumed that another solution can be statistically indeterminate, the maximum (limit) load is not determined, only the maximum operating (rated outer) load of screw joint F_{SJr} is determined.

II. ISJ of screw joints are loaded parallel to the axis:

Uniform load by force F_{total} :

$$F_{SJr} \Leftarrow F_{total} = n_{SJ} \cdot F_{SJr}$$

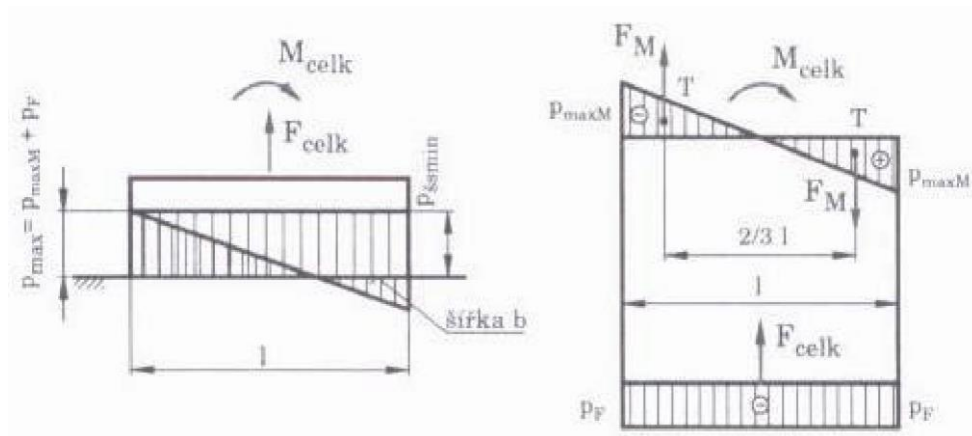


200

Legend: celk. - total, šifka - width

Planar load from F_{celk} and M_{celk} :

simply:



$$M_{total\,celk} = F_M \cdot 2/3 l \Rightarrow F_M = M_{total} / (2/3 l) \quad (5.1 - 3)$$

$$F_M = 12 \cdot 1/2 p_{maxM} \cdot b \Rightarrow p_{maxM} = M_{total} / (16 \cdot 1/2 \cdot b) = M_{total} / W_o \quad (5.1 - 4)$$

$$p_F = F_{celk} / l ; p_{max} = p_F + p_{maxM} \quad (5.1 - 5)$$

$$F_{Sj} \leftarrow p_m(F_{total}, M_{total}) = p_{Sj} r = n_{Sj} \cdot F_{Sj} r / b \quad (5.1 - 6)$$

Spatial load by F_{celk} and M_{celk}

- It is dealt with by analogy as in the plane, but it is also necessary to consider also the third dimension.

Determining the maximum load of the screw and prestressing of the joint (for the maximum load of the screw joint)

Less important screw joints:

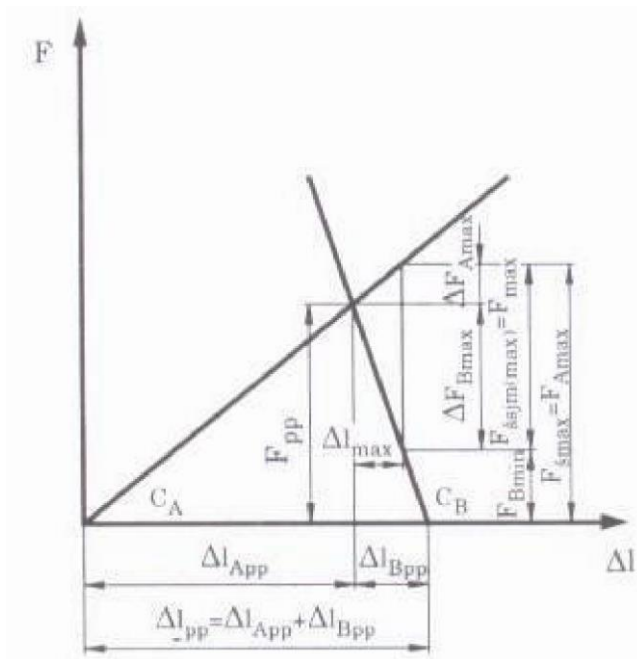
= maximum screw load: F_S size is assumed to be equal to the maximum operating load of the screw joint $F_{SS}(\max)$ increased by safety factor s :

$$F_{S\max} = F_{S(\max)} \cdot s \quad (5.1 - 7)$$

where: $s \in (1.5 \div 2.5)$

while the lower values are chosen for larger $\varnothing d$, higher values are chosen for smaller $\varnothing d$ (for smaller screw diameters, the risk of "breaking" when prestressing is higher). Prestressing of the FP joint is not determined. It is assumed that in the case of prestressing ("tightening"), the prestressing will be proportional to the size of the screw and therefore sufficient.

Important screw joints (as a prestressed joint - PP)



where: kA ...stiffness of the stressed arm of the screwed joint

kB ...stiffness of lightweight arm of screwed joint

The safety of the joint against clogging is expressed by the coefficient of relieving (improperly referred to as „tightness“) $c\psi$:

$$FBmin = c\psi \cdot Fmax > 0$$

$$c\psi \in (0.5 \div 1.5)$$

larger screw \emptyset , smaller screw \emptyset .

⇒ Maximum screw load:

$$FSmax = Fmax = FBmin + Fmax = (1 + c\psi) \cdot Fmax$$

$$C_{pp} = 1.5 \div 2.5$$

⇒ Joint prestressing (for the given non-relief coefficient of the joint $c\psi$):

$$F_{PP} = FBmin + \Delta FBmax = c\psi \cdot Fmax + kBkA + kB \cdot Fmax = (c\psi + kBkA + kB) \cdot Fmax$$

Strength at maximum load

Tension in the screw core

$$\sigma_t = F_{smax} / S_{jmin} \quad (5.1 - 8)$$

where: usually S_{jmin} is a minimum thread core cross section: $S_{jmin} = \pi \cdot d_{Smin}^2 / 4$ (5.1 - 9)

! The table says (due to the section through the thread area):

$$S_r \text{ for } d_{Sr} = d^2 + d^3 / 3 > d^3$$

Specific pressure in threads

If the standardized heights of nuts are used and the recommended thread lengths are observed (article 5.1.1), it is not necessary to assess the pressure in the threads.

$$(\text{mean}) = F S_{\text{maxnz}} \cdot S_1 Z = F S_{\text{maxnz}} \cdot \pi \cdot (d_2 - D_1) Z \cong F S_{\text{maxnz}} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \leq p D Z$$

Simply (article 5.1.2)

Production, assembly

- Simple design, structural changes of the parts to be connected are simple, the connecting parts are mostly purchased as standardized parts.
- The least suitable elements are threads in connected parts, especially if the hole axes are not perpendicular to the surfaces and if the holes are not walk-through (risk of breakage of tools).

CHARACTERISTICS OF TIME PROPERTIES

Processes speed

- Relatively fast design, production (and purchase), assembly and dismantling.

CHARACTERISTICS OF ECONOMIC / "COST" PROPERTIES

Processes economy

- With an appropriate manufacturing design it is a relatively inexpensive joint.
- Zero operating costs.
- Minimum dismantling costs (if the joint is not corroded).

5. Dowel, Rivet and Pin joints – structural arrangements, design and control

5.1. Pin joints

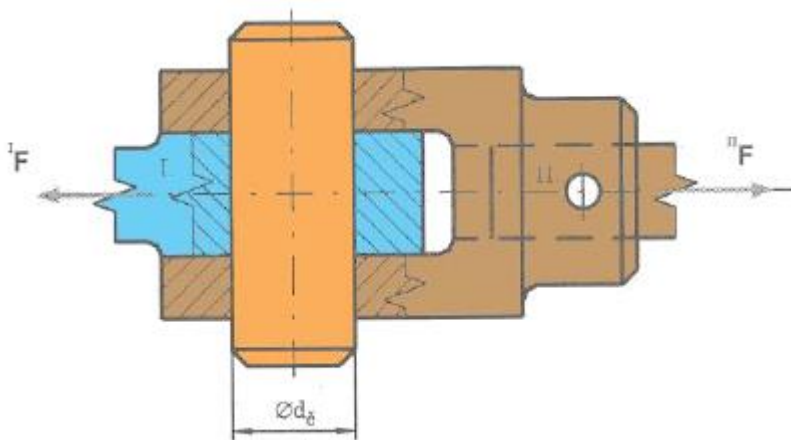
10.1.3. Characteristics

Easily dismountable connections by means of cylindrical pin inserted with movable bearing in the holes in the parts connected so that the connected TS parts are pivoted around the pin axle.

10.1.4. Structure

(basic construction properties)

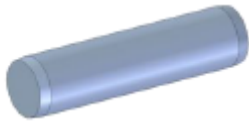
TYPICAL EXAMPLE



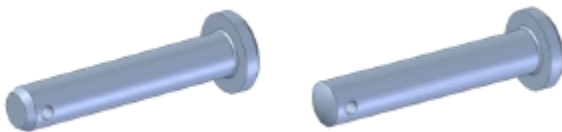
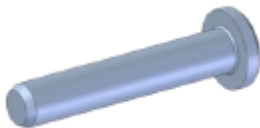
SHAPES

Standardized pins

- without a head
 - without holes (ČSN EN 22340)
 - with holes for cotters (ČSN EN 22340)

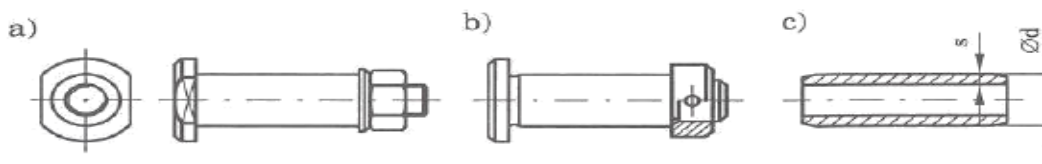


- with a head
 - without holes (ČSN EN 22341)
 - with a hole for a cotter (ČSN EN 22341)



Non-standardized pins

Examples:



DIMENSIONS, TOLERANCE AND MOUNTING

Dimensions

Standardized pins according to the relevant ČSN: $\varnothing d$: 1 – 200 mm
/: in allocated rows

Tolerance and mounting

Typically H11/h11 (or H10/h8 or H8/f8)

Material

Standardized pins: steel class 11 100 (11 103, 11 110)
11 300 (11 341, 11 373)
11 400 (11 423)

Non-standardized pins: steel class 11 500
11 600 91

10.1.5. Properties

UTILITY CHARACTERISTIC PROPERTIES

Operation, maintenance, repairs

- Transmission of forces perpendicular on the pin axis with the possibility of turning the connected parts (such as joints).
- Clearance in the connection is a problem in dynamic loading.
- During operation, the joint shall be lubricated (in case it is not equipped with a self-lubricating sleeve etc.).
- Dismounting capability depends on the method of axial locking of the pin, mostly a simple one.
- Protection against loosening also depends on the method of axial locking of the pin; it is most high.
- Protection against failure is determined mostly by the adjacent zones (parts) of the connected parts than by the pin itself.

Production, mounting

- Very simple production, structural modifications of the connected parts are simple (face alignment and reaming), pins and elements for ensuring the position of the pin are mostly purchased as standardized parts (components). Production of non-standardized pins is (generally) also very simple.

5.2. Dowel joints

10.1.6. Characteristics (construction)

Fixed (i.e. immobile) dismantable connection by means of (cylindrical or conical) dowels inserted tightly into the (crosswise) holes in the parts being connected or into the (lengthwise) holes between the parts being connected.

Notes:

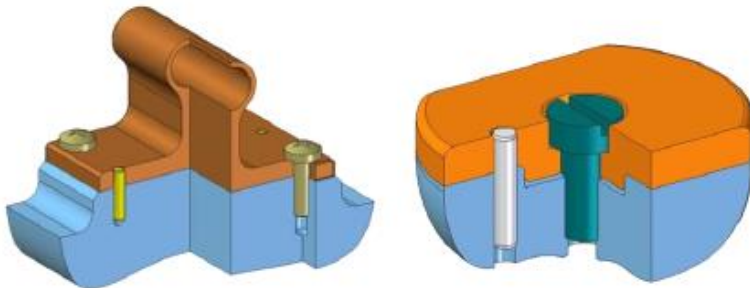
- Dowel joints are mostly used **combined with other types of joints** (or bearing) in order to achieve the desired properties of the resulting joint.
- Given that the adjacent zones (parts) of machines connected by means of dowels (also in combination with other types of joints) are usually difficult to deform due to their structure, such joints shall be placed so that their load is statically determined (or at least solvable with acceptable simplification).

10.1.7. Structure

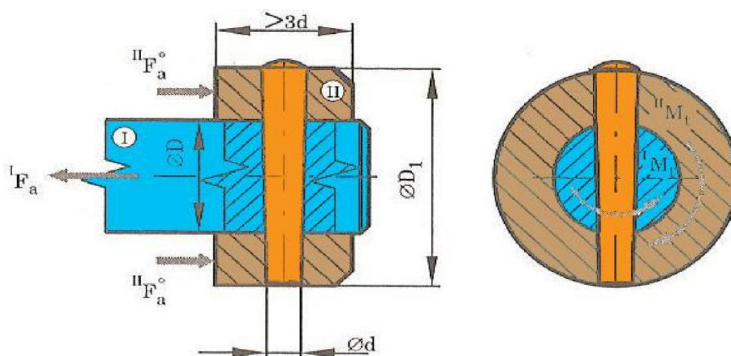
(basic construction properties)

TYPICAL DESIGNS

- To ensure position (the main function)



- To transfer load (the main function)



$$F_a I = F_a II = F_a$$

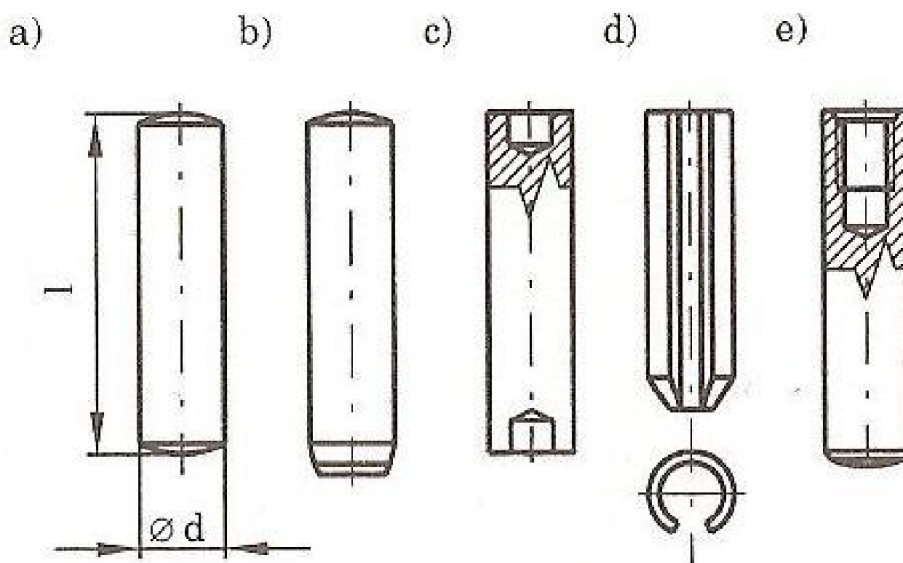
$$M_t I = M_t II = M_t$$

SHAPES

Standardized dowels

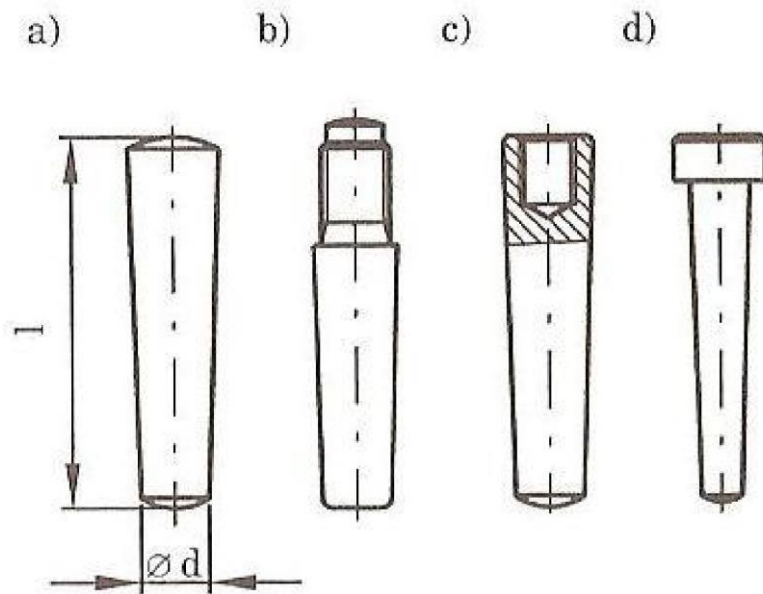
cylindrical (plain / smooth)

- cylindrical non-hardened (standard) (ČSN EN 22338+AC) a)
- cylindrical hardened (ČSN EN 28734) b)
- cylindrical with riveting ends (ČSN 02 2140) c)
- cylindrical flexible with gap (ČSN EN 28752) d)
- cylindrical with inner thread, hardened (ČSN EN 28735) e)
- cylindrical with inner thread, non-hardened (ČSN EN 28733) e)



conical (smooth / plain) (conicity 1 : 50)

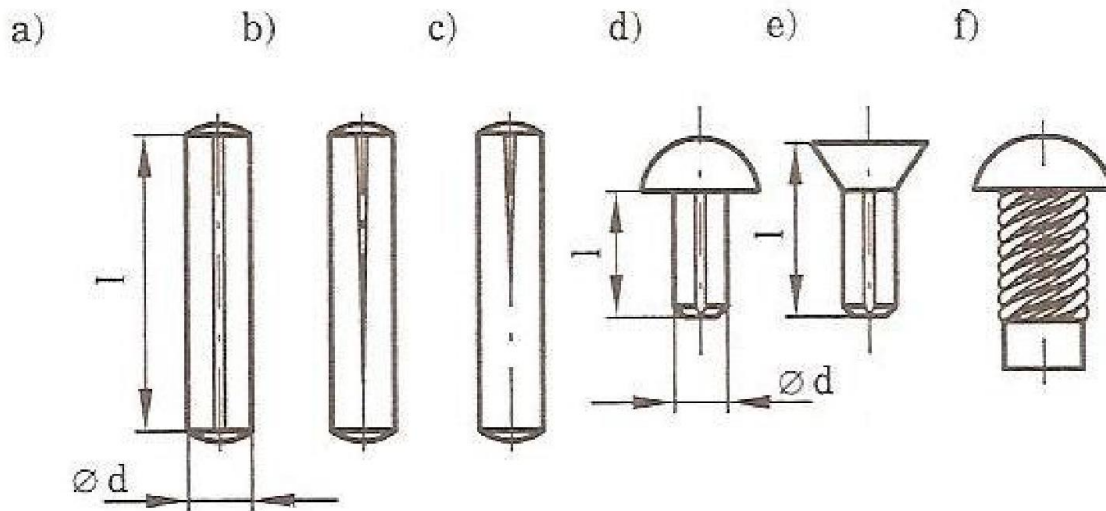
- conical non-hardened (standard) (ČSN EN 22339) a)
- conical with outer thread, non-hardened (ČSN EN 28737) b)
- conical with inner thread, non-hardened (ČSN EN 28736) c)
- conical with head (ČSN 02 2157) d)



Grooved

Without a head a) ÷ c), with a head (referred to as nails d) ÷ f)

- with a guide pin (ČSN EN 28739) a)
- with a chamfer (ČSN EN 28740)
- with grooving in the middle third of the length (ČSN EN 28742) b)
- with grooving in the middle of half length (ČSN EN 28743)
- taper grooved (ČSN EN 28744)
- taper grooved from half-length (ČSN EN 28741) c)
- taper grooved to half-length (ČSN EN 28745)
- grooved nails with ball head (ČSN EN 28746) d)
- grooved nails with countersunk head (ČSN EN 28747) e)
- screw nails (ČSN 02 2195) f)



DIMENSIONS, TOLERANCE AND MOUNTING

Dimensions

According to the relevant standard ČSN $\varnothing d$: (0.6 ÷ 50) mm

l: in assigned rows

Tolerance and mounting

Cylindrical smooth usually: H7/n6 (for riveting H11/h11)

Material

Cylindrical and conical dowels: steel class 11100 (11107, 11109)

11300 (11323, 11373)

11400 (11423)

11600

Cylindrical flexible and hardened dowels: steel class 11700

Cylindrical hardened dowels: steel class 19400 (19421)

10.1.8. Properties

UTILITY CHARACTERISTIC PROPERTIES

Operation, maintenance, repairs

- Transfer of forces perpendicular to the dowel axis in order to:
 - ensure mutual relation of the connected parts
 - ensure transfer of the load between the parts connected

One of the functions is usually the main one (see TYPICAL JOINT CONSTRUCTION), but

they can also be equal.

- Conical and grooved dowels are suitable for zero-backlash couplings (however, the grooved ones only for a minimum load).
- Positioning dowels are positioned as far apart as possible but in such a way that do not allow faulty connection (e.g. turning the connected parts etc.) during reassembly.
- The capability of dismounting and protection against loosening must be ensured by the choice of the dowel and joint construction.
- The reliability of the joint against failure (especially in dynamic stress) is influenced mainly by adjacent zones (areas) of the connected parts in which the dowel holes have adverse notch effects.

Production, assembly

- Very easy production (only drilling and reaming during the assembly), dowels are almost exclusively purchased.
- During assembly, it must be secured against loosening based on the type of the dowel (conical and grooved ones “thrusting”, etc.).

TIME CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes speed

- fast design, production (and purchase), assembling and dismantling

COST CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes economy

- economical connection
- operating costs arise only from the necessity of lubricating
- minimum dismantling costs

6.From shaft-hub joints – by means of springs, wedges and slotting

6.1. Spring and wedge joints

10.1.9. Characteristics (construction features)

Easy-to-dismount connections by means of springs or wedges of a prism shape (for wedges with a chamfered surface) inserted into longitudinal or exceptionally transverse holes corresponding to the shapes in the connected parts.

Notes:

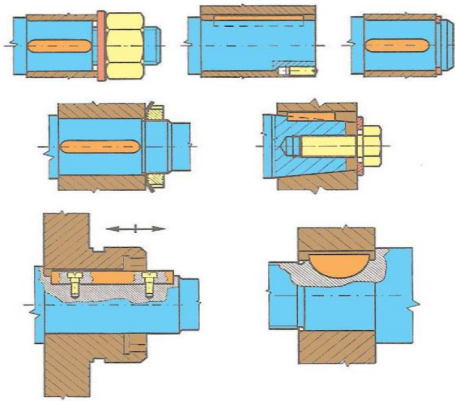
- Spring and wedge joints are almost exclusively used for the cylindrical areas. Therefore, from now on, we will consider only this case.
- Spring and wedge joints are mostly used combined with other types of joints and bearings so that all the desired properties of the resulting connection are achieved (relative axial position, alignment of connected parts, etc.).
- Since the adjacent zones (areas) of the machine components connected by means of springs and wedges (as well as their combination with other joint types) are usually difficult to deform due to their structure, it is recommended to place the joints so that **their loading was statically determined** (or at least solvable under a reasonable simplification).

6.2. Structure

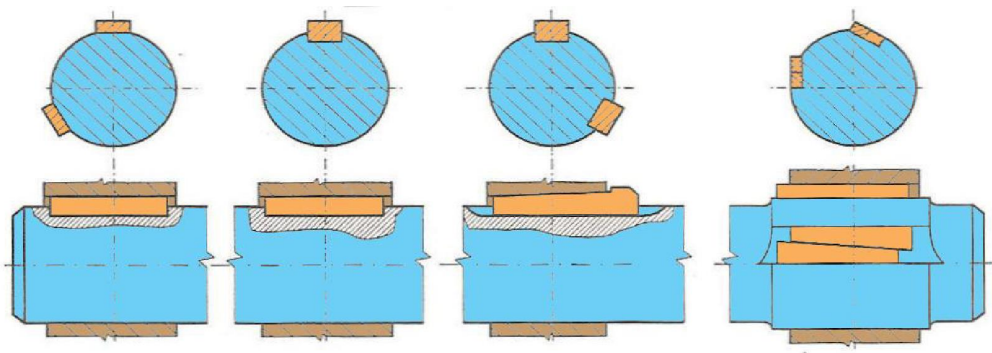
(basic construction properties)

TYPICAL DESIGN

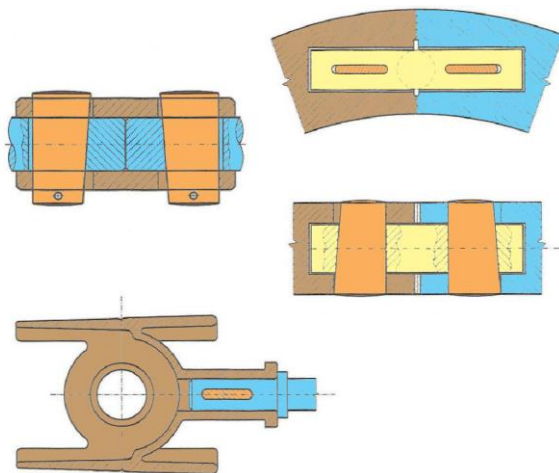
Spring joints (including the method of ensuring connected parts against shift)



Longitudinal wedge joints (chamfered "upper" surface of the wedge 1:100)



Transverse wedge joints (chamfered "lateral" surface of the wedge 1:25 - 1:10)



Notes:

Longitudinal wedge joints are used for connecting the hub and the shaft. They differ from the analogous connection with a spring in **transmitting the load by the friction force** caused by thrusting the wedge into a groove with the opposite chamfer (or onto the second wedge so that the bottoms of both grooves do not have to be chamfered). The lateral areas of the wedge in the groove or other support areas serve as an anti-slip

protection. Longitudinal wedge joints are thus suitable for transmitting large loads, including impact loading.

- Their main disadvantages include:

= **normal force (pressure) created by thrusting the wedge** and thus tangential friction forces ensuring the load-bearing capacity of the joint **cannot be identified**.

= due to the wedging, **transverse clearances in the joint are in one direction only**, which is a defect in their most frequent use between the hub (belt pulley, spur gear, flywheel, etc.) and the shaft.

- Longitudinal wedge joints are therefore practically not used; if yes, their lateral areas are designed and assessed for the transmission of the full load, as in the case of the key joints. In the recommended literature there is detailed information for their solution.
- Transverse wedge joints were used mostly for **large crank mechanisms, flywheels, drawbars, etc.** Currently they are only rarely used. The recommended literature provides detailed information for their solution.
- **From now on**, only commonly used longitudinal spring joints will be considered.

SHAPES, DIMENSIONS, TOLERANCE AND MOUNTING

Types according to the ČSN (non-standardized keys are practically not used)

tight – for sliding joints

- round ends (ČSN 02 2562) a)
- straight ends (rarely used) (ČSN 30 1382) b)

Replaceable and loose – for sliding joints

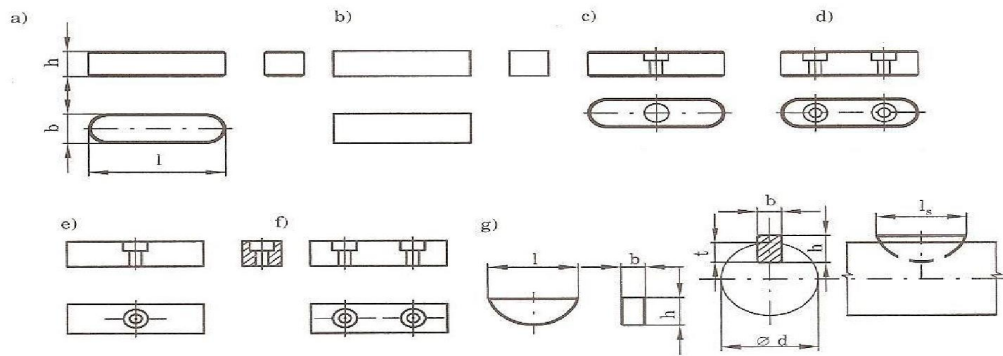
- round ends ("replaceable") (ČSN 02 2570) 1 sc. c)
(ČSN 02 2575) 2 šr. d)
- straight ends ("loose") (ČSN 30 1383) 1 sc. e)
(ČSN 30 1385) 2 šr. f)

Woodruff – for non-sliding joints

(only $d \leq 50$ mm) g)

(ČSN 30 1385)

other shapes (slots, or thread holes, etc.) – according to the relevant ČSN



Dimensions

- according to the relevant ČSN for $\varnothing d$: (6 ÷ 500) mm
/: in assigned rows
- assigning the cross-section of the KEYS to the shaft dimensions according to the ČSN
(ČSN 02 2507, ČSN 30 1036, ČSN 30 1037)

Notes:

- assigning the cross-section does not mean that it is not necessary to design and assess the key by loading. The differences are in the contact length of the key.
- usual key length: 1 ÷ 1,5 d for steel components

1,5 ÷ 2,5 d for cast components

Tolerance and mounting

Cylindrical part of the joint:

- on-sliding joints (conventional): H8/h7 (or H8/k7)
(higher requirements: provisional H8/m7, H8/p7)
(high requirements: moulded H7/r6, H7/

Material

conventionally: steel 11 600
for increased loading: steel 14 240

10.1.10. Properties

UTILITY PROPERTIES CHARACTERISTICS

Operation, maintenance, repairs

- Transfer of forces transverse to the longitudinal axis of the key. If the slide along the key axis is not desired, it is necessary to secure the joint in any other way (see TYPICAL DESIGN). With small axial forces, it is possible to use bearing of cylindrical surfaces with allowance uložení válcových ploch s přesahem.
- Clearance in joint is a defect in the case of dynamic loading.
- Dismounting capacity depends on the method of securing in the axial direction; simple usually.
- Protection against loosening also depends on the method of securing in the axial direction; usually high
- Failure reliability is given mainly by the adjacent zones (areas) of the parts connected, where the slots for the key have adverse notch effects.

Production, assembly

- to manufacture the slots requires a special tool, keys are purchased
- during the assembly it is necessary to secure or reduce the axial displacement of the connected parts

TIME CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes speed

- Fast design, relatively slow production (if there are no special tools available). Not suitable for mass production.
- The speed of assembling and dismounting depends on the overall design; usually fast

COST CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes economy

- medium-expensive joint
- zero operating costs
- relatively low dismounting costs

6.3. Spline joints

10.1.11. Characteristics

(typical structure properties)

Easily dismountable joints by means of co-working slots (teeth, keys) created on the parts connected.

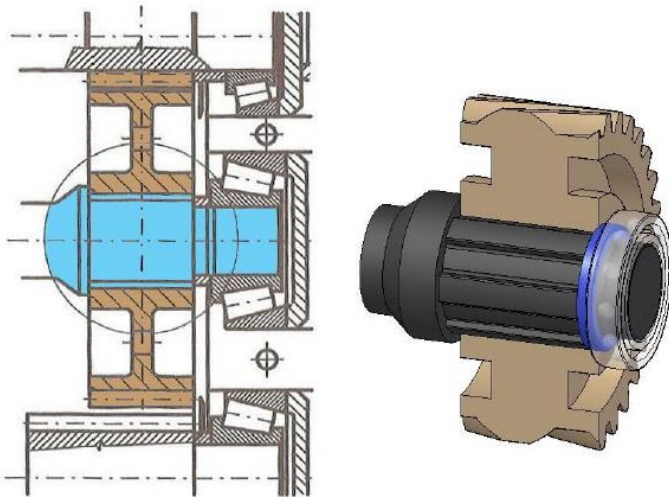
Notes:

- **Spline joints** are used exclusively with the slots created on the axially symmetrical surface. The slots can thus be **parallel, oblique and perpendicular** to the joint axis. **From now on**, only the most commonly used spline joints working on the principle of co-mating outer and inner slots (teeth) on **cylindrical surface** (i.e. parallel to the axis /centre/ of the joint symmetry).
- Spline joints with slots on the cylindrical surface are mostly used in combination with other types of joints (or bearings) so that all desired joint properties are achieved (relative axial position, sometimes more precise alignment of connected parts, etc.).

10.1.12. Structure

(basic construction properties)

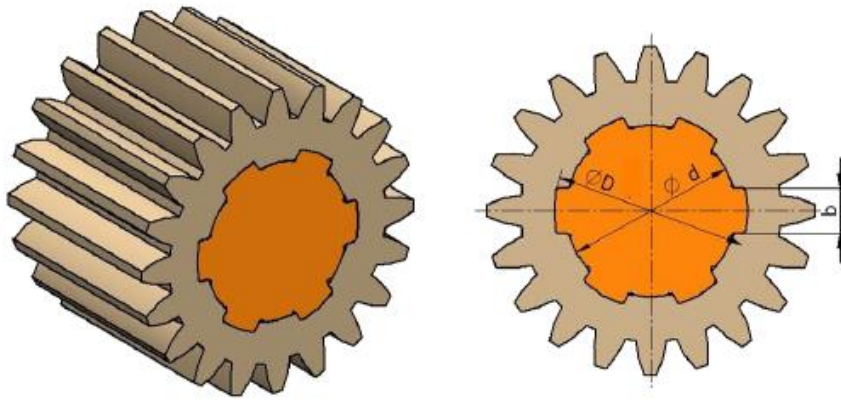
TYPICAL DESIGN (including the methods of securing against axial displacement)



SHAPES, DIMENSIONS A TOLERANCE

I. PARALLEL GROOVING (ČSN 01 4942)

Basic shape of cross-section

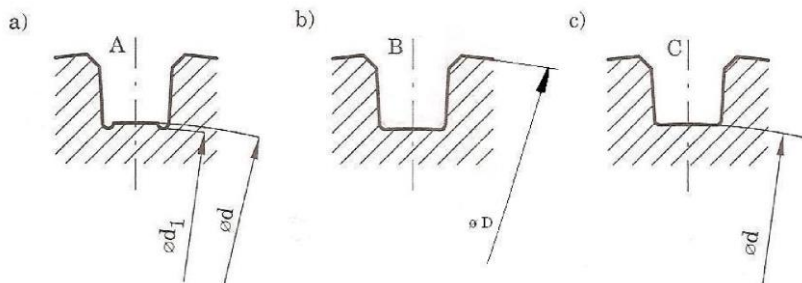


Types according to the number and dimensions of grooves / keys

- light series
- medium series
- heavy series

Note:

All three series have the same grading of $\varnothing d$ according to ČSN.
 Types (designs) by the method of centering and manufacturing
 A centering on the inner $\varnothing d$ in manufacturing by means of hob a)
 B centering on the outer $\varnothing D$ or sides b)
 C centering on the inner $\varnothing d$ c)



Dimensions

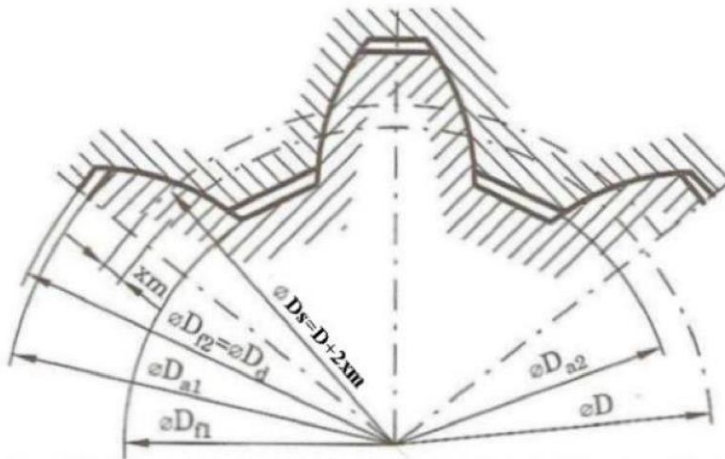
According to ČSN (01 4942) rated $\varnothing d$: (23 ÷ 112) mm (in a series), contact length l_{st} (1 ÷ 1,5) d stř

Tolerance and mounting

According to ČSN (01 4949)

II. INVOLUTE GROOVING (ČSN 01 4952 - 01 4955)

Basic shape of cross-section



Toothing

Shape of groove sides: involute

Meshing angle: $\alpha = 30^\circ$

modules : $m = (0,5 \div 10)$ mm

positive and negative correction: $xm < 0$

$xm > 0$

number of teeth: $z = 6 \div 20$

Types according to the method of centering and shape (design) of grooves:

- centering on the sides of teeth, flat bottom
- centering on the sides of teeth, convex bottom
- centering on the head of the shaft teeth, flat bottom

Note:

- Most commonly, **centering on the teeth sides** is used; centering on the head of the shaft teeth (outer centering) is used only in the case of required accuracy of the shaft and hub alignment.

Dimensions

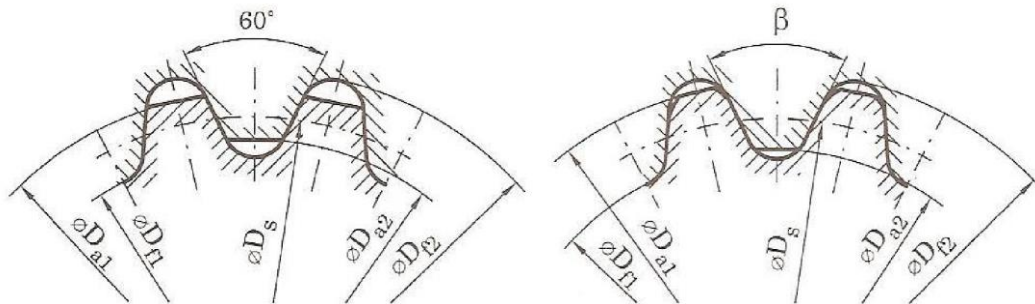
According to ČSN (01 4952 - 01 4955), rated $Dd = (4 \div 500)$ mm, contact length $lst (1 \div 1,5) dstř$

Tolerance and mounting

According to ČSN (01 4953)

III. FINE GROOVING

Basic shape of cross-section



Toothing

Pro $\varnothing D_{a1} \leq 60\text{mm}$:	
tvar boků zubů na hřídeli i náboji:	rovinný
sklon boků drážek:	$\beta = 60^\circ$
Pro $\varnothing D_{a1} > 60\text{mm}$:	
tvar boků zubů na hřídeli:	evolventní
modul:	$m = 1,5 \text{ mm}$
úhel záběru:	$\alpha = 27^\circ 30'$
tvar boků zubů v náboji:	rovinný
sklon boků drážek (podle $\varnothing D_{a1}$):	$\beta \cong 60^\circ (57^\circ \div 63^\circ)$
počty zubů:	$z = 6 \div 20$

Legend: pro – for, tvar boků zubů na hřídeli i náboji – shape of teeth sides on the shaft and hub, rovinný – flat, sklon boků drážek – gradient of slot sides, tvar boků zubů na hřídeli – shape of teeth sides on shaft, evolventní – involute, modul – module, úhel záběru – meshing angle, tvar boků zubů v náboji – shape of teeth sides in hub, počty zubů – number of teeth

Dimensions

According to ČSN (01 4933) rated $\varnothing Da1 = (8 \div 120) \text{ mm}$, contact length $lst(1 \div 1,5) \text{ dstř}$

Tolerance and mounting

According to ČSN (01 4933)

MATERIAL

Quality steel for both connected parts:

min. compressive strength: $\sigma_{Pt} \geq 500$ MPa

min. hardness of sides for sliding joints: HRC ≥ 55

10.1.13. Properties

I. and II. PARALLEL AND INVOLUTE GROOVING

UTILITY PROPERTIES CHARACTERISTICS

Operation, maintenance, repairs

- Transmission of high torques under alternating and impact loading, clearance in slots can be a defect.
- Requirements for precise alignment must be secured by either (more expensive) type of tothing or other method of centring
- Suitable for axial displacement of the connected parts without loading or with torque loading; otherwise it is necessary to secure axially.
- Dismounting depends on the method of securing in the axial direction; usually simple
- Failure reliability (especially in the case of dynamic loading) is affected by notch effect of slots and their run-outs

Production, assembly

- Production requires special tools and machinery
- Relatively easy assembly

TIME CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes speed

- Fast design (using data in the ČSN tables)
- Relatively fast production only when using a suitable equipment, fast assembly and dismounting.

COST CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Economy of processes

- Expensive joint, economical only in the case of mass production – in this case more economical than key joints, etc.
- Operating costs in the case of movable joints only due to lubrication, except for this – zero costs
- Minimum dismantling costs.

5.2.3 - III. FINE GROOVING

UTILITY CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Operation, maintenance, repairs

- Transmission of torques, compared to key joints shorter joints with the same loading
- Must be secured against axial displacement of the connected parts.
- Dismounting depends on the method of securing in the axial direction, usually easy
- Failure reliability affected by the notch effect of the slots and their run-outs, weakening of shaft is lower than in the case of parallel and involute grooving

Production, assembly

- As in the case of parallel and involute grooving

TIME CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes speed

- As in the case of parallel and involute grooving.

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- As in the case of parallel and involute grooving.

7. Power shaft-hub joints of shaft and hub – crimping and clamping

7.1. Crimp joints

10.1.14. Characteristic

(typical structure properties)

Rigid (ie. Immovable connected in operation) joints that are difficult to dismantle, working on the principle of permanent flexible pre-stressing of the connected parts by means of allowance in their contact surface (of any shape).

From now on, only the most common crimping joint with a cylindrical (or slightly conical 1 : 50) contact surface.

10.1.15. Structure

(basic construction properties)

Outer part ("hub")

Rotational symmetrical part (gear, ring gear, clutch disc, flywheel, etc.), or its deformation-active part (see below), whose inner (functional) cylindrical hole is made with a determined tolerance and quality of the surface.

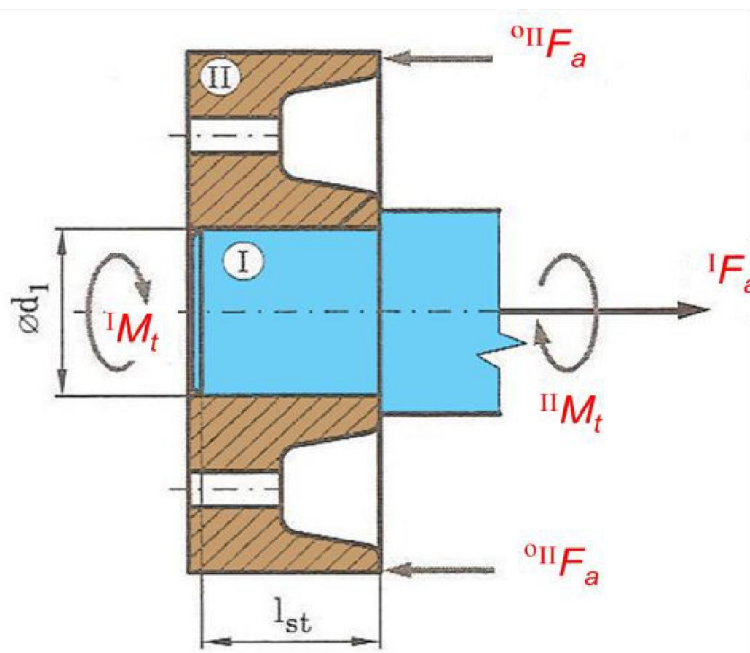
Inner part ("pin")

Rotational, symmetrical, full or hollow part (ring gear disc, full or hollow shaft, etc.) whose outer (functional) cylindrical surface is made within the dimension tolerance with determined allowance to the dimensions of the relevant cylindrical hole of the outer part and with determined quality of surface.

Note:

- allowance can be determined in the reverse order (outer part \Leftrightarrow inner part), the above mentioned alternative is significantly more suitable in terms of production, and is therefore more common

TYPICAL DESIGN



$$M_t I = M_t II = M_t$$

$$F I = F II = F$$

Symbol $^{\circ}$ means acting in all circumference

10.1.16. Properties

UTILITY CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Operation, maintenance, repairs

- Transmission of torque and / or axial friction force generated in the contact area by permanent prestressing and friction coefficient. The joint can also capture the bending moment.
- Suitable also for large loading (alternating, impact), as there is no clearance in the joint.
- High accuracy of alignment and perpendicularity of the connection
- High reliability of all properties of joint.
- No maintenance required x in the case of dismounting (replacement, repairs of the connected parts) dismounting is very difficult, sometimes even impossible.

Production, assembly

- High requirements for accuracy of the production tolerance.
- Relatively difficult assembly:
 - cold pressing (□ press equipment)
 - hot drawing (not pressing!) (□ equipment for uniform heat and safe manipulation with outer part) with a possible cooling of the inner part (□ cooling equipment).
 - In both cases, axial trip on the parts is necessary in order to fix the axial position (ie. support, most often annular area perpendicular to the axis).
- Suitable for all types of production when using appropriate production facilities (piece production, small batch production, ...).

Other aspects

- Relatively dangerous assembly – pressing or manipulation with a hot part during hot drawing.
- Relatively safe in operation – smooth shapes.
- Tolerance of bearing must be pursuant to ČSN.

TIME CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes speed

- The joint is suitable for fast design and implementation, does not require any special measures (material, semi-products, tools), if there is suitable pressing or heating (cooling) device at disposal
- Not suitable for fast repairs and dismounting

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

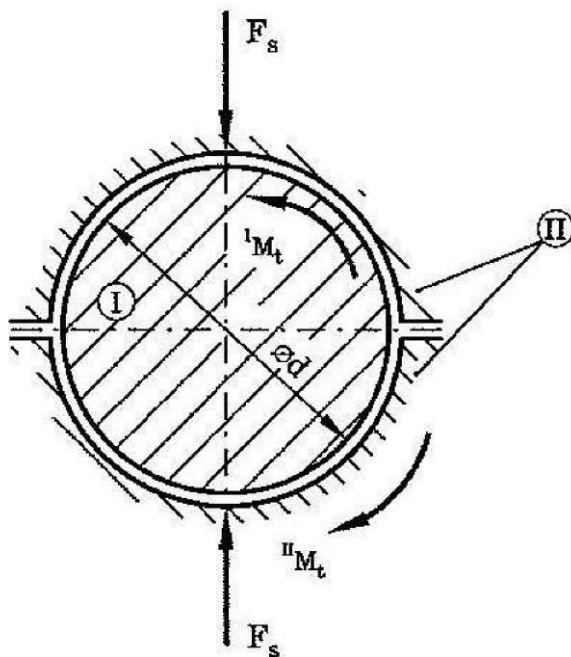
- Medium production costs
- Zero operating costs.
- High dismount costs

7.2. Clamping joints

10.1.17. Characteristic

(typical structure properties)

Rigid, easy to dismount connections on the principle of clamping (or bracing) of the connected parts in their contact areas (of any shape) by means of elements that do not participate in transmitting the loading. From now on, only the most common clamping joints with a rotationally symmetrical contact area



Contact length: kt

$$MtI = MtII = Mt$$

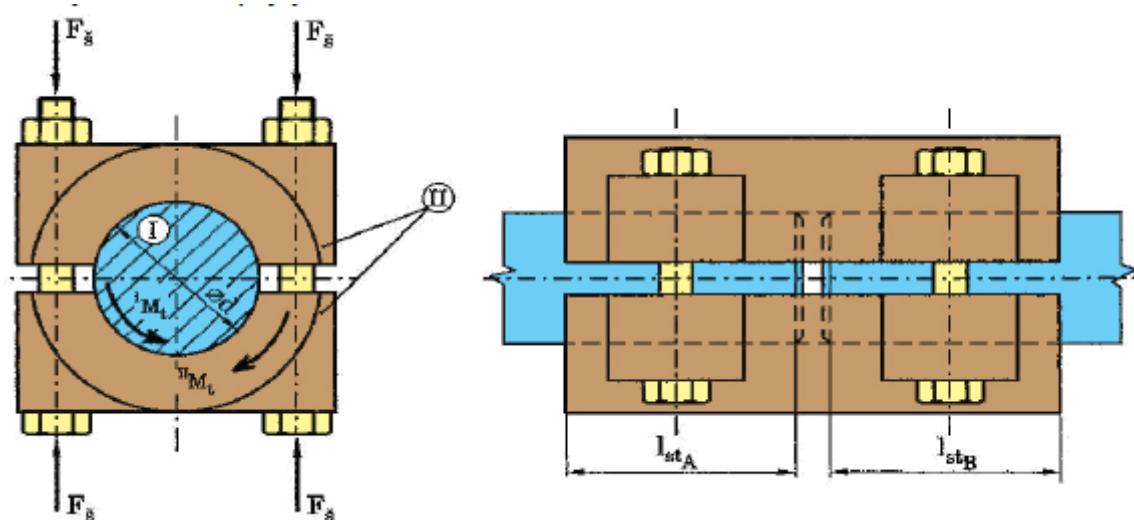
10.1.18. Structure

(basic construction properties)

I. CLAMPING JOINTS WITH CYLINDRICAL CONTACT AREA

A) WITH A DIVIDED OUTER PART

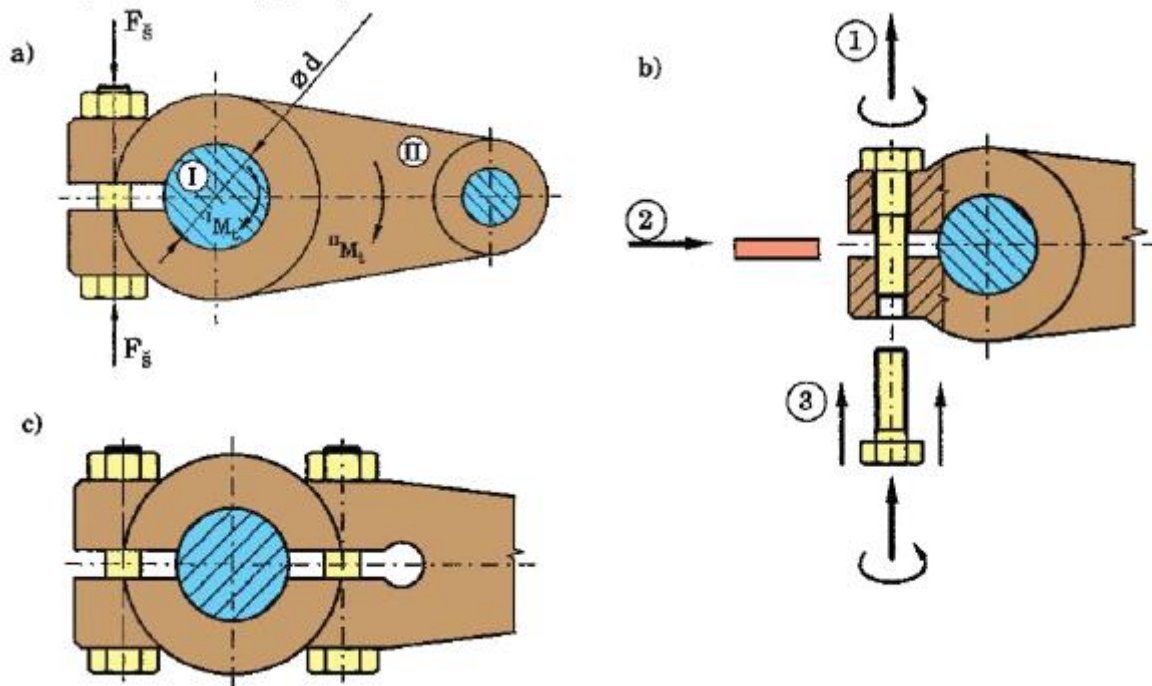
Usually clamp couplings of shafts:



$$M_t I = M_t II = M_t$$

B) WITH A PARTLY DIVIDED OUTER PART

Usually clamp couplings of levers with shaft:



Mounting of inner and outer part:

A), B) a) b) – temporary B) c) – with overlap (small A)

Either H8/j7 or H8/k7 H8/n7 or H8/p7

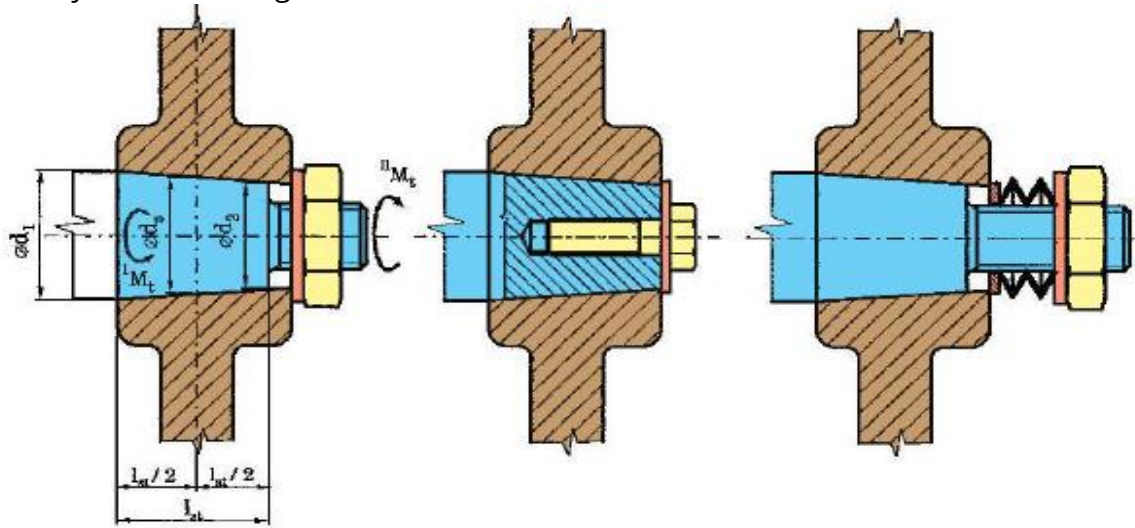
or H7/j6 or H7/k6 H7/n6 or H7/p6

C) WITH A NON-DIVIDED OUTER PART (for small \varnothing and small M_t)

II. CLAMP JOINTS WITH CONICAL CONTACT AREA

(only with non-divided outer part)

Usually for connecting hubs with shaft on its ends:



$$M_{tI} = M_{tII} = M_t$$

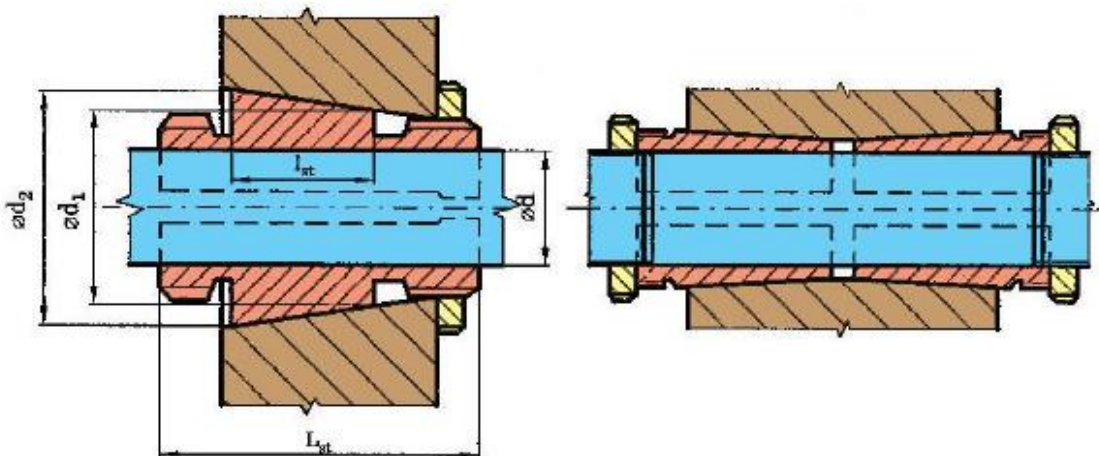
$$d_s = d_1 + d_2$$

Conicity: 1:5 - 1:10

III. CLAMP JOINTS WITH CONICAL SLEEVE

(only with non-divided outer part)

Usually for connecting ("hubs") inner bearing rings etc. with the shaft anywhere of its length:



Conicity: 1:10 - 1:15

Mounting of sleeves on the shaft - temporary: H8/j7

Those joints are not used for transmitting large loads, therefore they will not be further considered.

10.1.19. Properties

UTILITY CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Operation, maintenance, repairs

- Transmission of torque and axial force (friction force generated in the contact area by clamping) by bracing and friction coefficient). The joint can capture bending moment.
- Easy assembly, replacement and re-setting of relative position of the connected parts (except for the axial position of the joints with the conical contact area)
- Joint reliability significantly depends on the reliability of securing clamping elements against loosening.
- High reliability against fatigue fraction (no notches on the shaft).

Production, assembly

- Relatively easy production and assembly
- Divided parts shall be machined simultaneously
- Easy assembly and setting relative position of the connected parts (except for the axial position of the joints with the conical contact area).

Other aspects

Relatively dangerous for the service in the case of rotating due to outer non-rotational shapes (sometimes has to be covered).

TIME CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes speed

fast design, assembly, maintenance, dismantling.

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- relatively low production costs
- zero operating costs.
- minimal dismantling costs.

8.Flexible joints

8.1. Basic information

10.1.20. Characteristic

(typical construction properties)

Machine parts (organs), whose main function is to receive, preserve and re-release mechanic energy on the principle of elastic deflection of the material.

Notes:

- The basic part of each spring is “an individual spring”. In the case of compound springs, it is necessary to determine the loading of the individual springs on the basis of force (e.g. moment) and deformation conditions. The loading of the individual springs is dealt with separately. The properties of the compound spring are obtained by the reverse procedure. In majority of cases, springs are used on the principle of flexible shapes or malleable materials. Springs based on ductile materials (pneumatic, hydropneumatic, etc.) are used only in special cases and therefore they are used only in the introductory part of this chapter.

10.1.21. Structure

(basic construction properties)

PERFORMANCE CHARACTERISTIC AND SPRING DIAGRAM

Shifting and rotating due to deformation deflection deformace: $u = f(k, F [N]) [mm]$, $\varphi = f(k\varphi, Mt [Nmm]) [rad]$

Stiffness and torsion rigidity: $k = dF [N] / du [mm] [N.mm^{-1}]$
 $k\varphi = dMt [Nmm] / d\varphi [rad] [N.mm.rad^{-1}]$

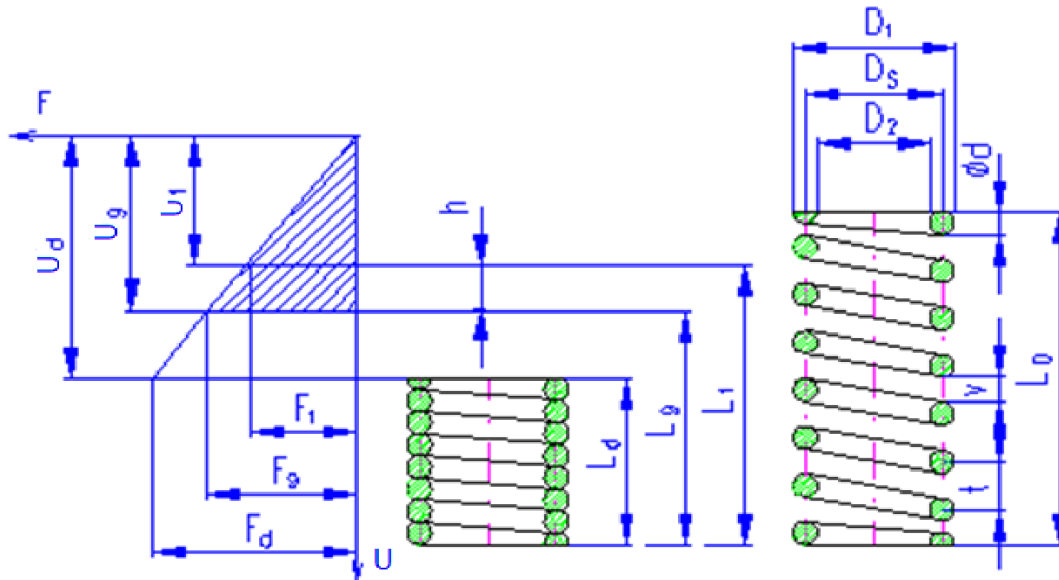
Types of performance characteristics:

- by deformation deflection dependence on loading:
 - = linear
 - = non-linear (continuous and broken)
 - progressive
 - degressive

- **by internal losses:**
 - = without hysteresis a)
 - = with hysteresis b)

Working spring diagram

Examples of linear helical spring:



Structure

(basic construction properties)

TYPES OF MATERIAL

A) Metallic

Steels

For high stress load, including dynamic load. Quality heat-treated steel with high flexibility, strength, fatigue and toughness:

Steel of all classes: 11 000 (min 11 800) - 19 000.

Strength of wires used for springs is increased by their mechanical strengthening (drawing) during the manufacturing. The influence of strengthening is smaller with the larger diameter of wire.

Therefore, when determining the strength of wire material is necessary to consider not only the type of material (including the heat treatment) but also the wire diameter /see

the following examples).

B) Non-metallic material

Rubber

For low stress and special requirements (high internal attenuation, non-conductivity of electricity, heat insulation, etc.)

The disadvantage is low resistance to low and high temperatures ($-35^{\circ}\text{C} < t < 50^{\circ}\text{C}$), shorter lifetime especially in the case of dynamic load, and low chemical resistance to oil and petrol.

Plastics

For low stress and special requirements (as in the case of rubber; compared to rubber, plastics show higher resistance to higher temperatures ($-40^{\circ}\text{C} < t < 120^{\circ}\text{C}$) and higher chemical resistance to oil and petrol.

C) Special material ("media")

Besides the aforementioned metallic and non-metallic materials, liquids and gases in special springing elements are also used as flexible material, usually with a necessary help of hydraulic or hydropneumatic systems.

CRITERIA FOR SELECTION OF MATERIAL

- spring type (structure etc.)
- use (function, parameters, ...)
- stress and deformation (types, size, ...)
- environment (heat, aggressiveness, ...)
- special requirements (electricity conductivity, magneticity, ...)

10.1.22. Basic properties

Properties of mechanical energy accumulators are used in propulsion systems and reverse mechanisms:

- for capturing static and dynamic forces or torques
- for changing the frequencies and oscillation shapes of mechanical systems
- for measuring and regulating forces and moments

Operating costs are usually zero.

Other operating, time, cost properties etc. are affected significantly by the structure of the spring, that is by:

- construction elements and their arrangement/organisation uspořádáním
- Shapes
- dimensions
- Material
- type of production
- state of surface
- difference from rated values in assembled state.

10.1.23. Design and evaluation

(for achieving desired properties and prediction of achieved reflective and reactive properties.)

Due to relatively low stiffness and weight of springs to high stiffness and weight of adjacent machine parts, the frequencies of oscillating system (simply: $\Omega = \sqrt{k/mred}$ [rad.·s⁻¹]) generally significantly lower than in the case of other common machine parts. It follows that in the case of common low-frequency dynamic operating load, it is necessary to deal with the design and evaluation of springs in terms of dynamic; the design and evaluation cannot be simplified and dealt with as static load increased only by operating (dynamic) coefficient *cdyn* as in the case of other common machine parts.

In some cases, it is possible to use more precise procedures as in the case of shaft couplings. Due to higher variability of spring use, this is only an exception. For these reasons, from now on only the information referring to design and evaluation of springs under static load are given.

The information relevant to design and evaluation of dynamically stressed springs need to be sought in professional literature.

Notes:

- When designing statically stressed spring: load(max), def(max) => Shapes, dimensions, material ...
- When designing statically stressed spring: safety, def(max) <= load(max), Shapes, dimensions, material ...

9. Material joints – welded, soldered, bonded

9.1. Welded joints

10.1.24. Characteristic

(typical construction properties)

Rigid non-dismountable connections based on the principle of melting connected parts using heat and / or pressure, using / without using filler material.

10.1.25. Structure

(basic construction properties)

METHODS OF MANUFACTURING (TYPES OF WELDING)

A) Melting: connecting by means of melting the material (of connected parts and / or filler) using heat, without pressure.

Types (according to the heat input)

- arcing: between metal (alternating or direct current) or carbon (direct current) electrode and original material:
- by hand with a metal electrode
- automatic with welding wire and flux
- automatic with tungsten electrode under modified atmosphere
- automatic with carbon electrode
- flame: combustion of gases – acetylene or propane-butane and oxygen
- electroslag: no arc. Heat source is the current passing through conductive slag and hot wire
- plasma: two arcs – basic and carrier generating plasma
- electron. beam: metals with high melting point - W, Mo ...
- termite: mixture of iron oxide with aluminium powder
- foundry: liquid metal – castings repairs

B) Pressure: connecting by melting the material (of the connected parts and/or filler ma-

terial) using heat and pressure.

Types (by method)

- by resistance: melting using low-voltage and intensive electrical current
- by contact: melting or upsetting (melting off, stamping)
- by points: two electrodes, usually cooled by water (thin sheets)
- by seams: between two disc electrodes or disc electrode and other component (in tight containers)
- by protrusions: one part - protrusions. It is clamped between flat electrodes (in mass production, otherwise rather costly)
- by friction (dry): melting by friction (for rotating parts)
- induction: melting using induced current (for producing seam tubes)
- ultrasound: melting using high frequency
- explosion: using explosives, spark discharge, magnetic wave
- from now on, only more common melt welding joints (connections by welds) are considered

Types of welded joints

Types by cross-section shape

Given by standards: ČSN 05 0025 ÷ 05 0028
ČSN 13 1075 (for pipelines)

CONNECTED AND FILLER MATERIALS

A) Connected material

Basic rule:

To use only material with guaranteed weldability (given in steel quality standards (material data sheets) ČSN 41 0000 ÷ 41 9858).

Degrees of weldability

zaručená (vždy)	1a pouze $t > 0^{\circ} \text{C}$	i dynamicky namáhané svary
zaručená podmíněně	1b za urč. podm. zaruč.	staticky namáhané svary
dobrá	2 nezaručuje, ale lze	podřadné svary
obtížná	3 nevyhovující svary	nedoporučuje se

Legend: zaručená (vždy) - guaranteed always, zaručená podmíněně - guaranteed conditionally, dobrá - good, obtížná - difficult, pouze - only, za urč. podmínek zaručená - guaranteed under certain conditions, nezaručuje x lze -not guaranteed x possible, nevyhovující tvary - inconvenient shapes, i dynamicky namáhané svary - including dynamically stressed welds, staticky namáhané svary - statically stressed welds, podřadné svary - inferior welds, nedoporučuje se - not recommended

Notes for individual material types:

- for steel in general: electric arc welding $C \leq 0.2\%$, $P, S \leq 0.1\%$
- steel classes 10 -17 : special types with guaranteed weldability (see in Table)
- hardened steel : hard to weld (must be pre-heated)
- casting steel (higher C): hard to weld (cracking)
- grey cast iron (higher C): hard to weld (pre-heated to 650°C)
- cast iron (422530,35,40): good weldability.
- non-ferrous metals: hard to weld (high heat conductivity (copper, bronze, brass) and low melting temperature)

B) Filler material

Types (by shape and modifications)

- coated electrodes: for arc hand-welding
- by the type of the material welded
- by the type of the coating (alkaline, acidic,)
- by the diameter: (1,6 ÷ 8) and length: (200 ÷ 500)
- bare wires: for welding without air supply

(submerged or under modified atmosphere)

- by the type of the material welded
- by the diameter: (1,6 ÷ 5) in meters
- by the diameter: (5 ÷ 20)

10.1.26. Properties

(properties)

UTILITY CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Operation, maintenance, repairs

- transmission of all load types
- not dismountable
- reliability affected by susceptibility to internal stress and notch effects

Production, assembly

- difficult to manufacture.
- possible to manufacture large machines and their parts (not possible by means

of castings and forgings).

TIME CHARACTERISTICS OF PROPERTIES

Processes speed

- relatively fast design and manufacturing
- in the case of complex products, ignition or aging necessary in order to remove internal stress (can be done also by means of vibrations), which extends the production time

CHARACTERISTICS

Processes economy

- In the case of piece production it is less expensive than castings, forgings, etc. (savings of material, less work); the necessity to remove the internal stress in the case of complex weldments increases the costs.
- Zero operating costs if the impossibility of dismounting is not a problem.
- High costs of “dismounting” (flaming, etc.).

9.2. Soldered joints

10.1.27. Characteristics

(typical construction properties)

Solid (immovable) not dismountable connection of two (usually) metal parts by means of metal which is melted during the connecting process and by means of diffusion adheres to the connected parts without melting them.

Soldered joints are used in various industries (precision mechanics, goldsmiths, plumbing, canning, vehicle construction, etc.).

10.1.28. Structure

(basic construction properties)

TYPES OF PRODUCTION (MANUFACTURING)

By the melting temperature (always lower than the melting temperature of the connected parts)

- soldering (to 450° C)

- brazing (over 450° C)

Preparation of metallic clean surface

- mechanically (scraping, brushing)
- by ultrasound
- chemically (using flux)

Heating up to desired temperature

- locally (by electric solder, solder lamp, burner, electric resistance, high frequency, etc.)
- overall (in a furnace using modified atmosphere, in vacuum using high frequency, submerging in salts melt, using melted solder)

CONNECTED MATERIAL, SOLDERS, FLUX

A) Soldering

Connected materials:

- copper, zinc, steel, lead and their alloys (usual materials)
- grey cast, aluminium, glass, metal-ceramic alloys (spec.)

Solders: (ČSN 05 5612 ÷ 50)

- tin
- special

Flux:

- resin, tallow, stearin, rosin
- chlorides (cause corrosion)

B) Brazing

Connected materials:

- steel, grey cast
- copper, nickel and their alloys

Solders:

- brass (ČSN 05 5680 ÷ 86)

- silver (ČSN 05 5660 ÷ 76)
- for aluminium (ČSN 05 5700 ÷ 80)

Flux: (ČSN 05 5700 ÷ 80)

- borax, boric acid
- chlorides, soda, potash, silica

SHAPES OF SOLDERED JOINTS

Basic types:

- butt-welding
- with sloping surface
- with bent sheet
- with overlapping
- with contact element

10.1.29. Properties

UTILITY CHARACTERISTICS

Operation, maintenance, repairs

- transmission of all small load types, most suitable in case of shearing stress.
- soldering used especially for the joints with tightness requirement or conductivity requirements in the case of not big tightness and in the cases where the material cannot be heated up to high temperatures.
- brazing where tightness, toughness, fatigue resistance, corrosion resistance, higher temperatures.
- they can be repaired using heat.

Production, assembly

- high demands on design (cleaning surfaces, small and even gap, even heating to the necessary temperature).

Other aspects

- degreasers and flux may be unsuitable (in terms of hygiene or possible allergies)
- impossible recycling

TIME CHARACTERISTICS

Processes speed

- relatively fast design and manufacturing

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- relatively cheap in production in small batches
- zero operating costs, if the impossibility to dismount the connection is not a problem
- disposal of solders

9.3. Bonded joints

10.1.30. Characteristic

(typical construction properties)

Solid (immovable) connections by means of a liquid material (glue) that adheres to the connected parts (creating a thin layer of about 0.1 mm).

Bonded joints are used when the conventional connecting methods are not suitable or possible. They are used also for machine repairs.

10.1.31. Structure

(basic construction properties)

MANUFACTURING METHODS

By temperature and pressure necessary for solidification of adhesive:

- normal temperature – about 20° C
- higher temperature 20° ÷ 200° C
- high temperature – about 200° C
- high temperature – about 200° C and pressure

Preparation of clean surface:

- mechanically
- chemically
- removing impurities, fats, oxides

CONNECTED MATERIALS AND GLUES

Connected materials

Types:

- Metallic: in aeronautics or mechanical engineering for connecting tins, containers, frames, pipelines, hubs on shafts, etc.
- Non-metallic: in all fields for connecting wood, PVC, ceramic parts, thermosets, glass, etc.

Druh	teplota tuhnutí	tlak při tuhnutí	pevnost τ_{pt} [MPa]
Polyester	norm.	ne	až 20
Polyvinylacetát	norm.– zvýš.	ne	až 30
Epoxid. pryskyřice	norm.– zvýš.	ne	až 30
Syntetický kaučuk	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolové pryskyřice	zvýš.– vysoká	ano	až 30
Fenolformaldehyd	zvýš.– vysoká	ano	až 30

Legend: druh – type, teplota tuhnutí – solidification point (temperature), tlak při tuhnutí – pressure on solidification, pevnost – strength, polyester – polyester, polyvinylacetát – polyvinyl acetate, epoxid. pryskyřice – epoxy resins, syntetický kaučuk – synthetic rubber, fenolové pryskyřice – phenolic resins, fenolformaldehyd – phenol formaldehyde, ne – no, ano – yes, normální – normal, zvýšená – higher, vysoká – high

Choosing by:

- type and dimensions of connected materials.
- method (drawing, shearing, bending) and type (static, dynamic) of load.
- operating temperature and chemical influence of environment.
- butt-welding – not suitable
- with sloping surface – better
- with bent sheet – suitable
- with contact element – suitable
- with adjusted surface – very good but expensive

10.1.32. Properties

UTILITY CHARACTERISTICS

Operation, maintenance, repairs

- suitable for transmitting relatively small loads in shearing stress, while even distribution of load is ensured (in the case of solid connected parts) compared to riveted or welded joints
- suitable for joints with tightness requirement
- suitable for joints with electric insulation requirements
- suitable for joints requiring vibration and noise attenuation
- not suitable for normal and dynamic loading
- not suitable for higher operation temperatures
- not suitable in aggressive environment
- do not require maintenance; impossible to dismount

Production, assembly

- suitable for connecting materials that cannot be heated up
- suitable for connecting materials that cannot be welded
- suitable for connecting thin sheets that cannot be welded or riveted
- suitable for connecting materials of different properties
- easy manufacturing
- relatively complicated preparation (cleaning of surfaces)
- requirement of necessary technical tools in the case of heat and pressure gluing

Other aspects

- degreasers can be inconvenient in terms of eco-friendliness and hygiene
- recycling almost impossible.

TIME CHARACTERISTICS

Speed of processes

- fast design
- simple structure enables fast connection of the parts
- solidification time can extend the production time (of seconds to hours)

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- simple design reduces the costs of labour and material
- possible special technical tools for curing heat require additional costs

- zero operating costs if the impossibility to dismount the connection is not a problem

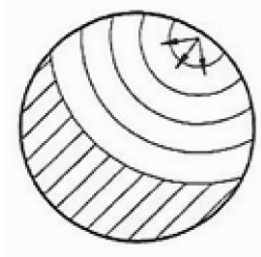
10. Dynamic (Variable) load and stressing machine parts TS – dynamic (fatigue) strength

10.1. Basic information

Manifestations of dynamic (variable) load on the strength of machine parts:

- failures at stress $\sigma \ll \sigma_D$
- brittle fractures of parts even in the case of tough materials

Example of a typical fracture of a machine part (shaft, pivot, etc.) caused by fatigue (the upper part of the section shows smoothed initial area of the disruption caused by material fatigue, the lower shaded parts shows the final classical granular static fracture)



Dynamic load and stress is caused by:

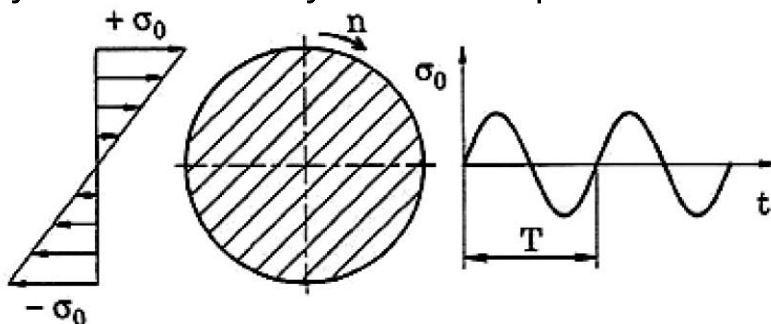
a) changes of external load:

Example: $M_o = M_{o\max} \cdot \sin(\omega \cdot t), n=0$

b) changes in the position of the part to constant (not variable) loading:

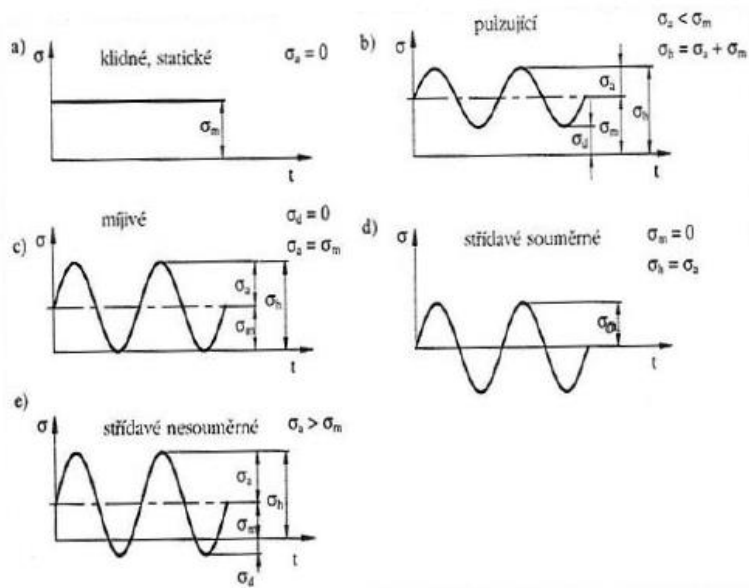
Example: $M_o = M_{o\max}', n \neq 0$

Dynamic load caused by rotation of the part to external static (constant) loading



Courses of variable load and stress:

- **general course:**
 - = stochastic
 - = periodic
- **harmonic course:**
 - = sine/cosine with one or more harmonic components (usual also as an equivalent substitution of general periodic course for calculations and experiments)



Legend: klidné - still, statické - static, pulzující - pulsing, míjivé - fleeting, střídavé souměrné - alternating regular, střídavé nesouměrné - alternating irregular

Typical types of harmonic voltage – diagrams of curves

where: σ_m – medium voltage of the oscillation, σ_a – voltage of the oscillation amplitude, σ_h – oscillation upper voltage, σ_d – low voltage of the oscillation

Lifetime (durability) of machine parts at harmonic stress:

Lifetime (durability) of a component is given by the number of oscillations at which a fatigue failure occurs.

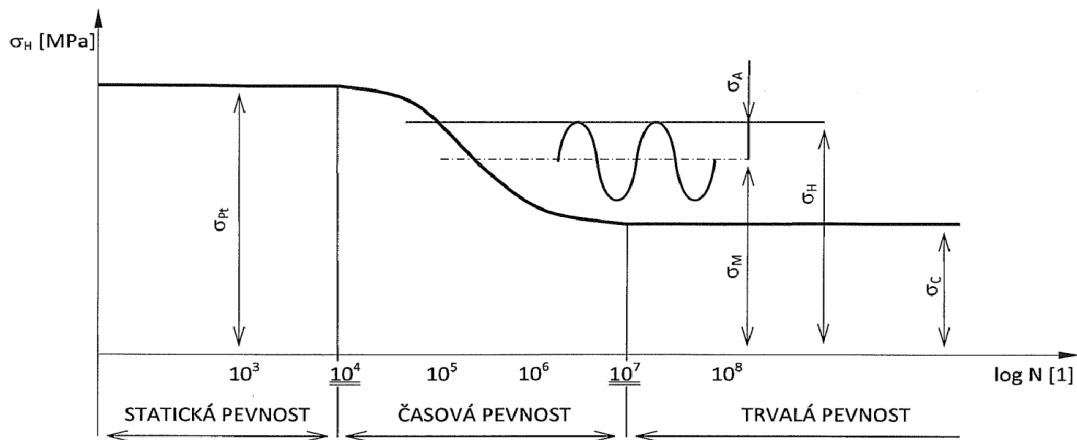
10.2. Material fatigue limit

Fatigue time limit (time limit for fatigue of common machine part):

$\sigma N = \sigma M + \sigma AN$... oscillating voltage (σM , σA), at which the service life at the given mounting of the machine part is N cycles

Fatigue limit („permanent“ fatigue for common machine part):

$\sigma_C = \sigma_M + \sigma_A$... pulsating harmonic voltage, ($\sigma_M \neq 0$, $\sigma_A \neq 0$, tj. $\sigma_H = \sigma_M + \sigma_A$, at which the lifetime of the given machine part $N = \square$ cycles

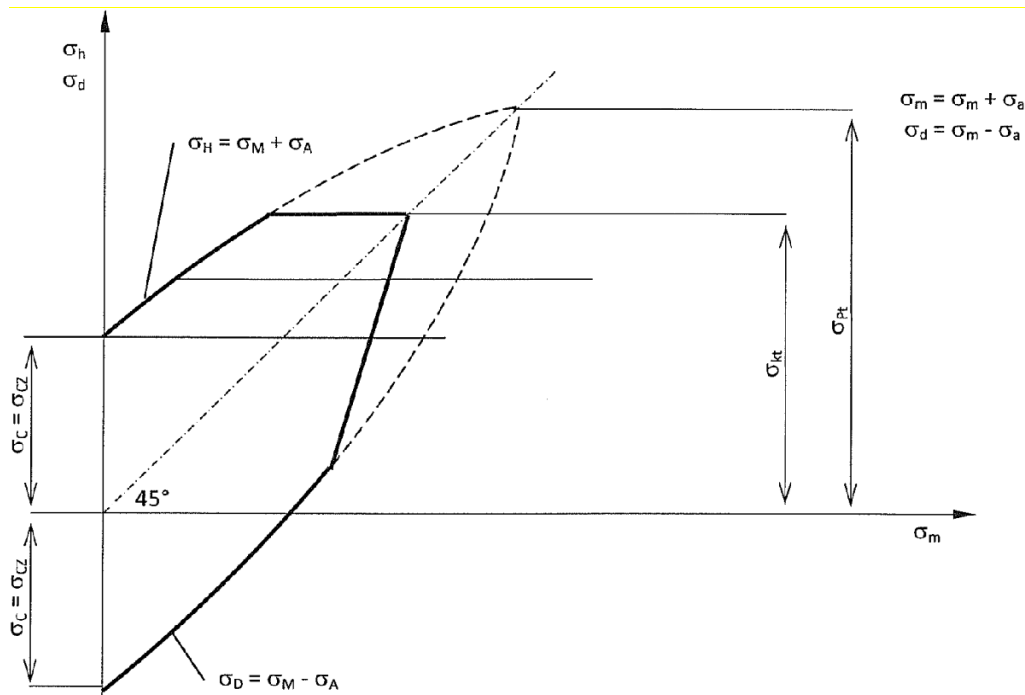


Legend: statická pevnost – static strength, časová pevnost – time strength, trvalá pevnost – time strength

10.3. Material fatigue limit at common harmonically changing voltage

Basic Smith chart:

Smith chart defines the limit parameters of harmonic voltage, i.e. the limiting medium voltage of the oscillation and limiting voltage of the oscillation amplitude at which the fatigue fractures of a smooth polished rod (generally a certain point on a common machine part). The chart must be experimentally determined for each material type (and point on a machine part) separately.



10.4. Factors influencing material fatigue

$\sigma_C = \sigma_C Z \dots$ (basic) fatigue limit for smooth polished rod

$\sigma_C^* = \sigma_C Z^* \dots$ lower (basic) fatigue limit for a point on a component, i.e. not for a component as a whole) due to the factors given below

10.1.33. Notch effect – notch coefficient β

Notches are sudden changes in shape on components that cause local increase (concentration) of a "proper" load at the given point, causing:

- reduction of strength
- reduction of material toughness

10.1.34. Component size effect – coefficient of component size v

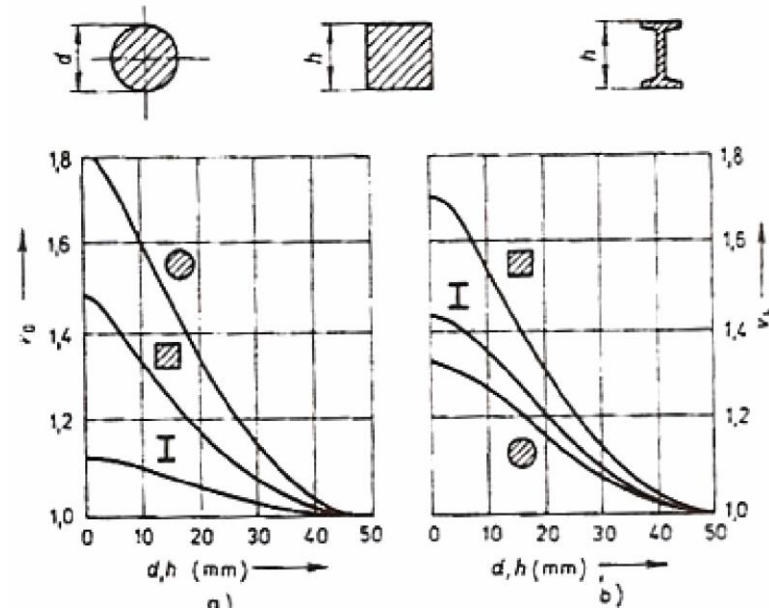
For basic types of stress:

$\sigma_C^* = v \cdot \sigma_C \dots$ for tension – compression

$\sigma C_0^* = v \cdot \sigma C_0$... for bending

$\tau C k^* = v k \cdot \tau C k$... for torsion

Examples of diagrams for determining the size component coefficient value v



10.1.35. Surface quality effect – surface quality coefficient η_P

$\sigma C^* = \eta_P \cdot \sigma C$... for tension – compression

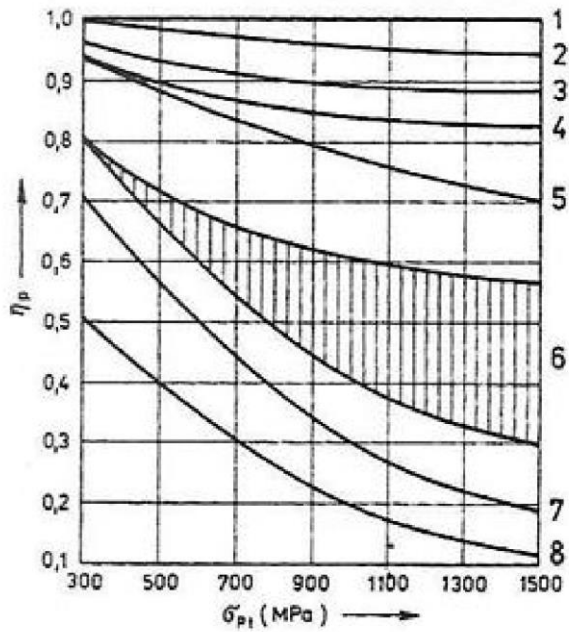
$\sigma C_0^* = \eta_{P0} \cdot \sigma C_0$... for bending

$\tau C k^* = \eta_{Pk} \cdot \tau C k$... for torsion

$\eta_{P0} = \eta_P$

$\eta_{Pk} = 0,5 \cdot (1 + \eta_P)$

Diagram for determining the surface quality coefficient value η_P



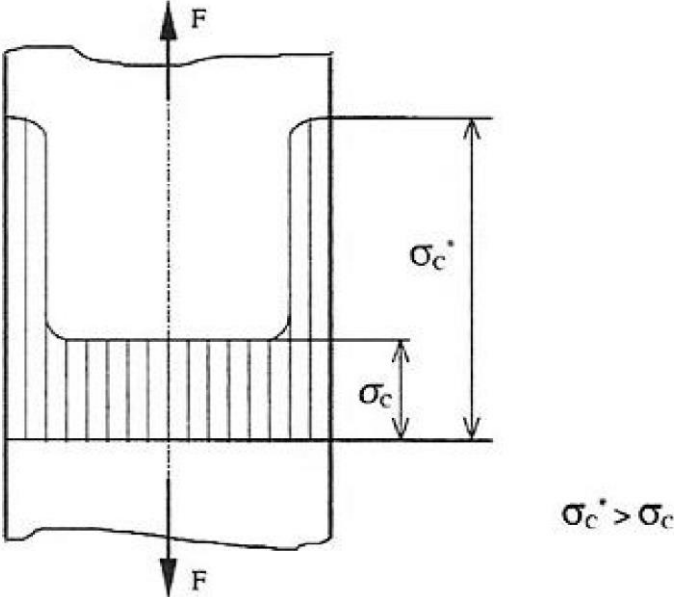
10.1.36. Influence of surface reinforcement - coefficient of surface reinforcement k

$\sigma C^* = k \cdot \sigma C$... pro tah - tlak

$\sigma Co^* = ko \cdot \sigma Co$... pro ohyb

$\tau Ck^* = kk \cdot \tau Ck$... pro krut

Effect of surface-hardening on increasing the fatigue limit (critical for fatigue failures)



The values of coefficient k for the individual types of stress and typical hardening types must be sought in special professional literature. For a vast majority of non-hardened surfaces it holds true that:
 $k = k_0 = k_1 = 1$

11. Shafts

Shaft is a machine component of a cylindrical shape used for transferring rotating movement and mechanical work. On shaft, gear wheels, sprockets, pulleys, belt pulleys, castors, clutches, stop brakes, and other rotating and non-rotating parts, such as cams. Shafts can be divided into two groups by the function and stress: axles and transmission shafts.

Axles (machine shafts)

Axles (machine shafts) do not transmit any torque (performance). They are stressed only by bending. Axles bear gear wheels, belt pulleys, castors and other rotating machine parts that are mounted on them either rotating or fixed. Typical examples of machine shafts are railway machines axles.

Transmission shafts

Transmission shafts are also called drive shafts. They are more commonly used than the machine shafts. They are stressed mainly by torque, which they transmit from the point of drive to the point of work. Unlike the machine shafts, transmission shafts are stressed by torsion combined with bending. Shafts are pivoted in bearings. A typical example of transmission shafts is shaft in gearboxes, that is, all shafts that are powered.

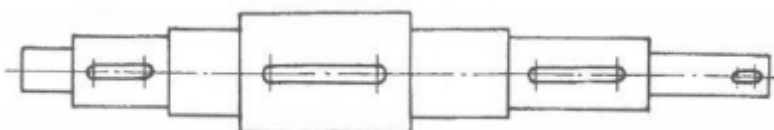
Types of transmission shafts

By shape and method of using:

- normal
- hollow
- slotted
- crankshafts
- flexible shafts

Normal transmission shaft

It is manufactured by turning, since the shaft stress varies over its length, as well as its diameter. The stress is lowest at the ends of the shaft, therefore their diameter is smallest. Changes in the shaft diameter cause various fittings facilitating mounting of the rotating parts on the shaft.



Hollow transmission shaft

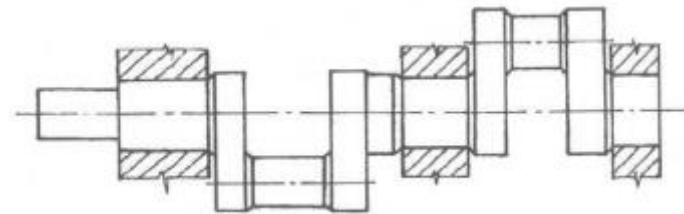
It uses material much more economically. It can transmit more load than a full shaft at the same weight. This is due to the fact that when subjected to torsion and bending, the center of the shaft is much less stressed than its outer part.

Slotted transmission shaft

It has longitudinal grooves on its length, actually producing several springs. Slotted shaft thus has the same function as keyed joint. It is used where we need to ensure axial displacement of rotating parts on (mostly) gear wheels on the shaft.

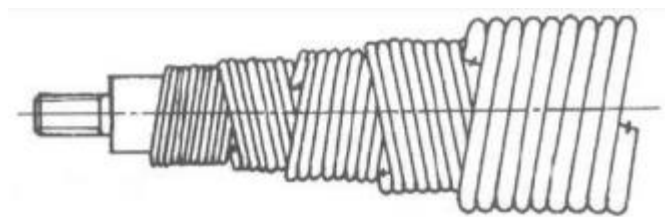
Crankshaft

It is a part of a crank mechanism changing the direct reciprocating movement to rotating and vice versa. Crankshafts are manufactured of forged blanks and then finished by machine tools.

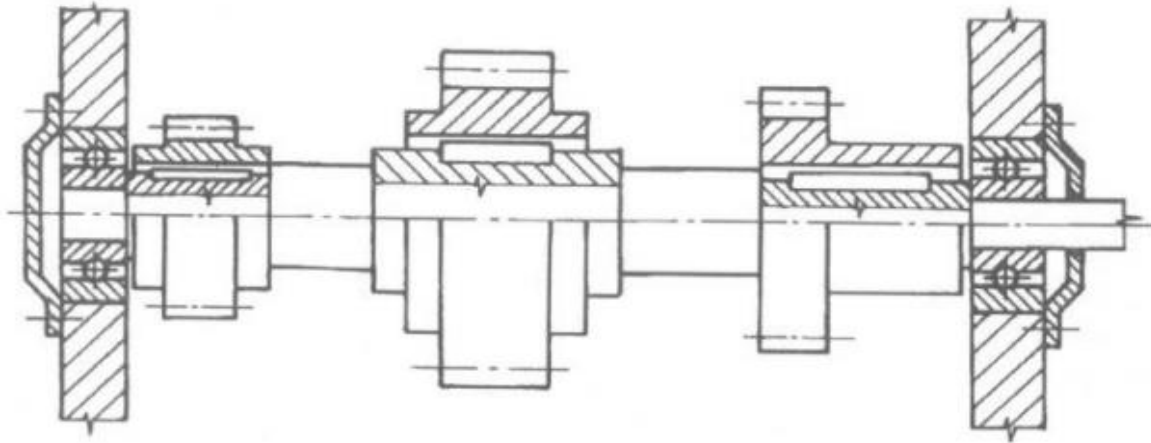


Flexible shaft

It is used where it is necessary to change the position of the driving shaft to driven shaft during the rotation. To ensure the necessary flexibility, the shaft is manufactured of wire in several layers. The individual layers are wound in opposite directions so that the shaft does not tend to unwind. E.g. hand grinder.



Placing of transmission shafts



Example of placing transmission shaft on two rolling bar bearings

12. Plan Bearings

Characteristic

(typical construction properties)

Rotating bearings on the principle of surface contact with sliding friction (of different type).

Notes:

- Types of sliding friction (by the lubrication intensity):
 - = static friction: without lubricant or with solid lubricant (graphite, etc.), friction surface areas are in full contact
 - = limiting friction: with insufficient layer of lubricant, friction surface areas are in partial contact
 - = fluid friction: dostatečná vrstva maziva (kapalina, plyn, příp. plast. mazivo), třecí plochy se nedotýkají
- The related effect is the wear condition of sliding surfaces depending on the intensity of lubrication.

12.1. Bearing with hydrodynamic bearings

10.1.37. Characteristic

(typical construction properties)

Sliding rotary bearings where the layer of lubricant (so called hydrodynamic wedge) is generated by the relative movement of sliding surfaces (creating wedge gap). Therefore, the so-called limiting friction with the beginning or end of movement under static friction during the acceleration and deceleration.

SHAPES, DIMENSIONS, SURFACE ROUGHNESS AND TOLERANCE

A) Sliding surfaces

Geometrical shape

It is achieved by machining (drilling, turning, grinding) without additional scratching (it affects the geometrical shape).

At higher parameters: geometrical shape accuracy is prescribed.

Surface roughness

Operating conditions - roughness Ra: of the bearing pin [μm]

- high parameters 0,2 0,4
- medium parameters 0,4 0,8
- low parameters 0,8 1,6

Tolerance

Accuracy at radial plain bearings IT5 ÷ IT7

B) Lubricant inlet

Shapes and dimensions:

Lubrication holes, slots, pockets according to ČSN 01 5906 (always shallower with rounded shapes)

Position of lubrication grooves at radial bearings:

In an unloaded area (perpendicular to the direction of the motion, never to the edges)

C) Bearing housing and bearing case (radial bearings components)

Notes:

- Housing: plain bearing insert in the shape of a hollow cylinder.
- Case: a part of split sleeve, or the whole but split sleeve.

Types of housing and cases:

by the thickness of sleeve/case, diameter of the pin d :

- thin-walled: thickness $s \approx (0.02 \div 0.1) \cdot d$

(it is machined: finished before mounting – accuracy depends on the accuracy of boring in the bearing housing)

- thick-walled: thickness $s \approx (0.1 \div 0.2) \cdot d$

(machined: finished as the thin-walled, with additional machining)

by the number of layers:

- single-layer ("massive"): from bearing materials, only exceptional (it is costly)
- double-layer ("bimetallic"): with liner, of bearing materials (thickness ≈ 0.2 mm),

lifetime of bearing increases with decreasing thickness of liner

- three-layer: with additional galvanic coating of a soft composition (Pb - Sn, etc.), which enables to use non-hardened pins.

Position of cases and housings (in the body of bearings)

With an overlap ensuring reliable transmission of a friction moment in the bearing are used only to ensure the proper position during the assembly)

Usual position: H7/p6, H7/r6, H7/s6 (in the case of thin-walled it is given by the measuring on the circumference)

MATERIAL

Types of bearings materials

Material class $p \cdot v$ [MPa· m· s-1]

- tin and lead alloys (compound) 20 ÷ 100
- copper alloys with tin, lead, etc.(bronze) 20 ÷ 100
- aluminium alloys 20 ÷ 100
- other metals (grey cast, porous metals) 10
- plastics 10 ÷ 30
- other non-metallic material (graphite, rubber, wood)

Choosing bearing material

Choosing bearing material, as well as the construction and lubrication properties, is a key factor for reliability and lifetime of bearings.

Main criteria:

Outer bearing properties (required):

= type and size of load, sliding speed, lifetime

= operating temperature, type of lubricant, environment

= price

Bearing construction properties (recommended):

= type and hardness of the pin material (at least 100 HB higher than the hardness of the bearing material)

= roughness of sliding surfaces (by the recommendation above)

= type and quantity of lubricant (sufficient quantity of quality lubricant (without impurities) – except for oiliness and oilless bearings)

Sliding, mechanical and physical properties of bearing materials (optional):

= galling resistance (compatibility with the pin material), hard particles adaptability and JÍMAVOST, friction coefficient.

= load (characterized by coefficient $p \cdot v$), fatigue strength, ...

= corrosion resistance, abrasion resistance, hardness, ...

10.1.38. Properties

Operation, maintenance, repairs

- capturing radial or axial displacements and forces; however, both functions can be ensured by proper construction within one unit (see above)
- suitable for impact and dynamic load (high attenuation)
- very quiet and smooth operation without vibrations
- clearance in the bearings ("float") can be a defect
- especially suitable for permanent operation (at the beginning and end of movement there is no hydrodynamic lubricant layer – static and limiting friction with high wear, can be improved by pressure lubrication x it is more expensive)
- wider than at roller bearings
- smaller outer diameter than at roller bearings
- Easy dismounting is given by the structure of the bearing
- higher requirements for maintenance and purity (lubrication and oil purity)

Production, assembly

- high requirements for precision of manufacturing and cleanliness of environment
- easy assembly is influenced by the structure of load-bearing part

TIME CHARACTERISTICS

Processes speed

- time-consuming design, manufacturing, maintenance, repairs, etc.

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- relatively costly design and manufacturing
- relatively costly operation, maintenance and repairs

13. Ball bearings

Characteristics

(typical construction properties)

Rotating bearings on the principle of rolling contact with rolling friction usually using separately manufactured component – rolling bearing.

SHAPES (TYPES) OF BALL BEARINGS (ČSN 02 4629)

By the direction of the captured forces (and movements)

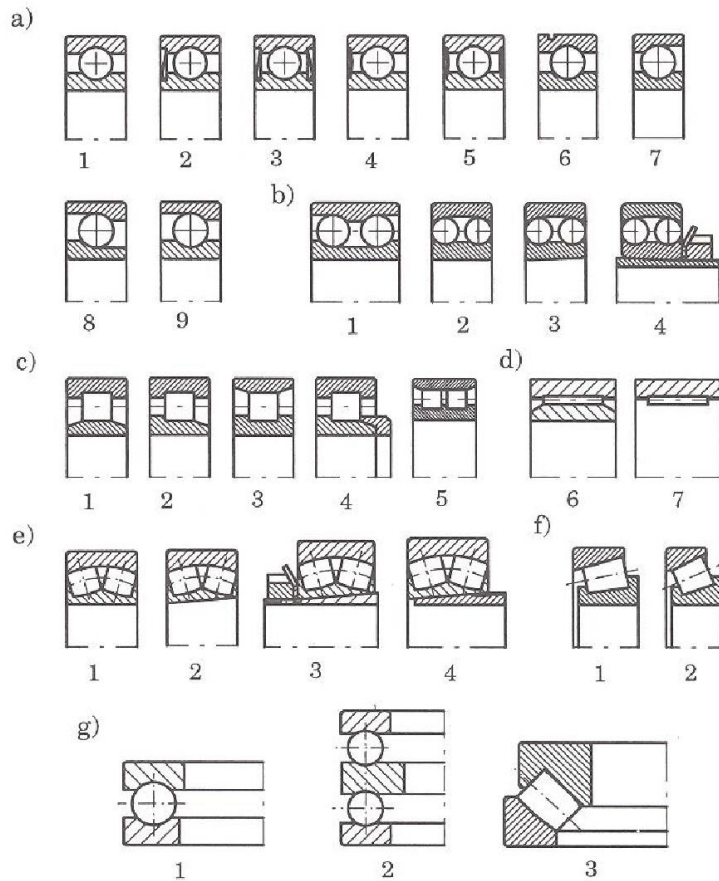
(A) radial (outer and inner ring, cage, rolling body)

(B) axial (rings, cage, rolling body)

By structure (the basis is the shape of rolling body)

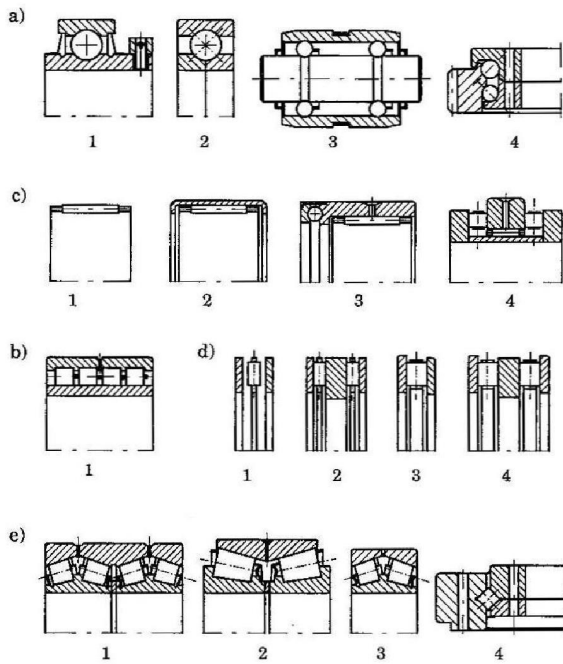
(A) Standard bearings

- Single row ball bearings a)
 - = purely radial 1 ÷ 6
 - = with angular contact 7 ÷ 9
- Double row ball bearings b)
 - = with angular contact 1
 - = tilting 2 ÷ 4
- Roller bearings c)
 - = single row (NU, NJ, N) 1 ÷ 4
 - = double row (NN with conical hole) 5
- Needle bearings d)
 - = single row 1
 - = single row without inner ring 2
- Double row spherical e) ... 1 ÷ 4
- Roller f) 1 ÷ 2
- Axial g)
 - = ball one-directional 1
 - = ball bi-directional 2
 - = roller 3



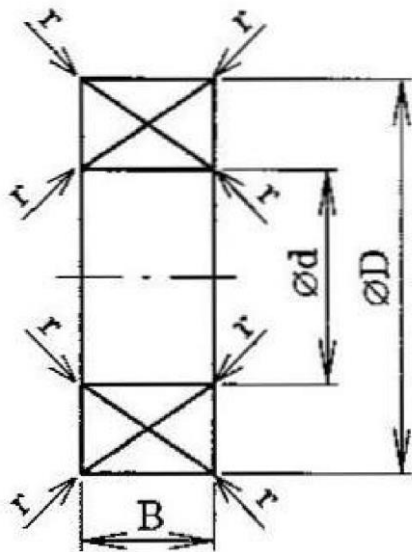
(B) Special bearings

- Ball bearings a)
= with a four-point contact 2
- Roller b)
= multi-row 1
- Needle c)
= cage with needles 1
= case with needles 2
- Axial d)
= needle 1 a 2
= roller 3 a 4
- Tapered e)
= multi-row 1, 2, 3
= cross 4



DIMENSIONS OF ROLLING BEARINGS (ČSN 02 4629)

Basic dimensions:



- $\varnothing d$... inner diameter
- $\varnothing D$... outer diameter
- B ... width
- r ... radius of curvature

Dimensional series

Individual types of bearings in dimensional series: $d \Rightarrow D, B, \dots \Rightarrow$

Notes:

- for d : 20 ÷ 480 mm:

$d = (\text{last two digits in the marking according to ČSN}) \times 5$
e.g.: 6220 $\Rightarrow d = 20 \times 5 = 100 \text{ mm}$

ACCURACY OF DIMENSION AND RUNNING OF BALL BEARINGS (ČSN 02 4612) (ČSN ISO 492)

Tolerance:

- dimensions
- throwing at turning:
= radial for radial bearings
= axial for axial bearings

POSITION OF BALL BEARINGS

Important for lifetime of ball bearings.

Factors influencing the position choice:

- size and type of load
- material and toughness of parts
- heat conditions in bearings
- dilatation of components
- precision requirements
- assembly and dismounting requirements

Rules and recommended mounting:

- Ring rotating in the loading direction (circumferential loading) must be fixed (to prevent rolling):
 - (J7, K7)/ j6, k6
 - (outer ring hole – more common / pin for inner ring – more common)
- Ring not rotating in the loading direction can be mounted freely / with clearance (point load)

- H7, H8 (G7)/(h6, g6)
- (outer ring hole – more common, pin for inner ring)

MATERIAL OF BALL BEARINGS

Rings and rolling bodies

High requirements (local alternating voltage); therefore besides high static strength and exact composition, there are high homogeneity requirements.

Usually: chrome steel class 14, hardened and tempered to min. hardness 59 HRC

Cages

Usually pressed from steel sheet.

Quality bearings have brass or ceramic material cages.

UTILITY CHARACTERISTICS

Operation, maintenance, repairs

- Capturing radial and axial displacements and forces by the type of bearings and its mounting on / in both parts of the machine (usually on the shaft and in the case) at high revolutions and temperatures.
- Not suitable for impact loading.
- Clearance in bearing can be a defect.
- Low losses, efficiency $\eta \approx 0,98$.
- Small longitudinal dimensions compared to other types of bearings.
- Larger diameters compared to other types of bearings.
- Simplicity or complexity of replacing bearings is influenced by the structure of the load-bearing and mounted part; usually simple.
- Low maintenance requirements (lubrication by grease or oil for toothed lubrication).

Production, assembly

- Manufacturing requires precision, bearings are purchased.
- Simplicity or complexity of assembly is influenced by the structure of the load-bearing and mounted part; usually simple.

TIME CHARACTERISTICS

Processes speed

- Relatively fast design, production (and purchase), assembly and dismounting.

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- With a suitable design, manufacturing is relatively cheap (much cheaper in case of mass production).
- Low operating costs (lubricants).
- Low dismounting costs.

14. Shaft couplings

14.1. Characteristic

(typical construction properties)

Machine parts enabling the transmission of torque and movement between two adjacent rotating parts of a technical equipment (system), with their axles being:

- parallel
- slightly concurrent
- slightly skew

This function is often combined with other functions (those usually being the main functions):

- to reduce the transmitted torque
- to dampen torsional oscillations
- to enable manufacturing of large part
- to enable assembly and dismounting
- to eliminate changes in position of the parts connected (due to geometric inaccuracies, malleability, thermal expansion, etc.)

Based on the principle and method of transmitting torque and rotation (i.e. by functioning / working principle and method), coupling can be divided into:

10.1.39. Mechanical couplings

Non-disconnected (permanently connected in the operation):

- (non-flexible) rigid (tubular, trough, flange/disc, with spur)
- (non-flexible) leveling (tubular, pin, toothed, with cross disc, with joints, toothed)
- flexible (disc, with integrated flexible bodies, with inserted flexible bodies, ring and disc, with metal springs, membrane)

Controlled (mechanically, hydraulically, pneumatically, electromagnetically) with changes in connection controlled from the coupling neighbourhood:

- toothed (front, cylindrical)
- friction (disc, vanes)

Automatic / semi-automatic, with changes in connection directed fully / partly by the coupling

- insurance (destructive, sliding, slipping)
- starting (powder, segment)
- idle (axial principle, radial principle)

10.1.40. Hydraulic couplings

Hydrodynamic

- with closed ring (uncontrolled, self-controlled, controlled)
- with open ring

Hydrostatic

10.1.41. Electric couplings

Asynchronous

- with swirl armature
- with cage armature

Synchronous

10.1.42. Magnetic couplings

Notes:

- The classification is embedded in ČSN 02 6400, in the case of mechanical couplings a more suitable functional structure and labelling is used.

By ensuring sub-functions, couplings consist of the following parts:

- **driving (propulsion) part** (connected with driving part of the technical system)
- **driven part** (connected with driven part of the technical system)
- **connecting part** (connection between the driving and driven part of the coupling)

If the coupling is “symmetrical” (in terms of dimensions, weight, function), the division of the shaft into driven and driving part is determined only by the selected orientation in the technical system. However, in the case of many types of “non-mechanical” couplings,

the right distinguishing between the driving and driven part of the coupling (to driving and driven part of the technical system) a necessary condition for ensuring their proper functioning).

Notes:

Due to their easy classification, couplings are most designed, manufactured and delivered as components. This applies to all types of mechanical, "non-mechanically" (= electromagnetically, hydraulically and pneumatically) controlled couplings and partly also for hydraulic, electric and magnetic couplings used in special cases.

Information for using mass-produced couplings shall be sought in the manufacturer's catalogue or in professional literature. From now on, only commonly used mechanical couplings are considered, with a focus on the individually designed and manufactured types.

14.2. Fixed (rigid) couplings

10.1.43. Fixed (rigid) couplings in general

Characteristic

(typical construction properties)

Couplings on the principle of fixed connections preventing all relative movements of connected rotating parts (usually shafts).

Properties of common couplings

UTILITY CHARACTERISTICS

Operation, maintenance, repairs

- Transmission even of periodically changing torques
- Possibility of transmission of bending moments
- In operation, non-alignment of connected parts can generate additional loads leading to coupling damage

Production, assembly

- Relatively easy production
- Assembly is relatively complex, precise alignment of the connected part is always necessary; some types also require the possibility of axial displacement of (at

least one) connected parts

TIME CHARACTERISTICS

Processes speed

- Fast design and production (purchase)
- Assembly and dismounting can be slow (time-consuming, complicated)

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- Relatively cheap
- Zero operating costs

14.3. Levelling (rigid dumping)

10.1.44. Levelling (rigid dumping in general

Characteristic

Typical construction properties

Couplings on the principle of (rigid) kinematic pairs enabling changes in relative position of connected parts.

Properties of common couplings
(properties)

UTILITY CHARACTERISTICS

Operation, maintenance, repairs

- Transmission of torque when enabling axial, radial angular or combined deviation of axles of connected rotating parts
- Usually require lubricating

Production, assembly

- Simplicity or complexity of production depends on the type of coupling
- Usually relatively easy assembly

TIME CHARACTERISTICS

Processes speed

- it depends on the type of coupling; usually fast assembly and dismounting

COST CHARACTERISTICS

Economy of processes

- Production costs depend on the type of coupling
- Operating costs are given by the necessity of maintenance, especially lubricating

11. Literature

[Bach 1903a] Bach C.: Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Erster Band: Text, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903

[Bach 1903b] Bach C.: Die Maschinen-Elemente; Ihre Berechnung und Konstruktion, Zweite Band:Tafeln und Tabellen, Arnold Bergsträsser Verlagsbuch Handlung, Stuttgart, 1903

[Berard&Watters 1927] Berard S. J., Watters E. O.: Machine Design Problems; D. Van Nostrand Company, New York, 1927

[Bhushan 2007] Bhushan, B.: Handbook of Nanotechnology, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 3-540-01218-4

[Boháček a kol. 1984] Boháček, F.: Části a mechanismy strojů – Zásady konstruování spoje; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1984

[Boháček a kol. 1987a] Boháček, F.: Části a mechanismy strojů II – Hřídele, tribologie, ložiska; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987

[Boháček a kol. 1987b] Boháček, F.: Části a mechanismy strojů III – Převody; Skripta; Ediční středisko VUT Brno, Brno, 1987

[Boháček a kol. 1989] Boháček, F. a kol.: Základy strojnictví, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00083-1

[Bolek a kol. 1963] Bolek, A. a kol.: Části strojů - Díl II; Převody a převodová ústrojí; Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1963

[Bolek a kol. 1989] Bolek, A. a kol.: Části strojů, 1. Svazek, SNTL Praha, Praha, 1989, ISBN 80-03-00046-7

[Bolek a kol. 1990] Bolek, A. a kol.: Části strojů, 2. Svazek, SNTL Praha, Praha, 1990, ISBN 80-03-00426-8

[Branowski a kol. 2007] Branowski, B.: Podstawy konstrukcji napedów maszyn, Wydawnictwo Politechniki Poznanskiej, 2007, ISBN 978-83-7143-347-

[Budynas a kol. 2008] Budynas a kol.: Shigley´s Mechanical Engineering Design, 8th edition, Boston: Mc Graw Hill, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2 (ještě nenaskenovaný obsah)

[Bureš 1979] Bureš, V.: Části strojů II (Převody; pružiny, součásti potrubí); Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1979

[Bureš 1988] Bureš, V.: Části strojů I (Části spojovací, hřídele, osy, ložiska a spojky); Ediční středisko VŠSE Plzeň, Plzeň, 1988

[Černoch 1959] Černoch, S.: Strojně technická příručka; SNTL, Praha, 1959

[Dejl 2000] Dejl, Z.: Konstrukce strojů a zařízení I. – Spojovací části strojů. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-018-3

[Deutschman a kol. 1975] Deutschman, A. D. a kol.: Machine Design - Theory and Practice; Macmillan Publishing Co., Inc., New York and Collier Macmillan Publishers, London, 1963, ISBN 0-02-329000-5 (Hardbound), ISBN 0-02-979720-9 (International Edition)

[Dietrych a kol. 1967] Dietrych, J.: Podstawy konstrukcji maszyn, Wydawnictwa naukowo - techniczne, Warszawa, 1967

[Dubbel 1961a] Dubbel, I.: Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl I; SNTL, Praha, 1961

[Dubbel 1961b] Dubbel, I.: Inženýrská příručka pro stavbu strojů – Díl II; SNTL, Praha, 1961

[Faires&Wingren 1955] Faires, V. M., Wingren, R. M.: Problems on the Design of Machine Elements; The Macmillan Company, New York, 1955

[Glezl a kol. 1986] Glezl, Š. a kol.: Základy strojíctva, Alfa vydavatelstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1986

[Grote 2007] Grote, A.: Handbook of Mechanical Engineering, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, ISBN 978-3-540-49131-6

[Hájek a kol. 1988] Hájek, E. a kol.: Pružnost a pevnost I, SNTL, Praha, 1988

[Hamrock a kol. 2005] Hamrock a kol.: Fundamentals of Machine Elements, 2nd edition, Boston: Mc Graw Hill, 2005, ISBN 978-0-07-246532-7

[Heiligenberg 1997] Workshop: Die Zukunft der Maschinenelementen – Lehre (Heilingenberger Manifest), Institute für Maschinen – Konstruktionlehre und Kraftfahrzeugbau Universität Karlsruhe a Maschinenelemente und Konstruktionslehre TH Darmstadt (Prof. Dr. Ing. Birkhofer), Schloß Heiligeberg, 23. – 24. 4. 1997

[Hosnedl&Krátký 1999] Hosnedl, S., Krátký, J.: Příručka strojního inženýra - Obecné strojníčásti 1. Praha: Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-055-3.

[Hosnedl&Krátký 2000] Hosnedl, S., Krátký, J.: Příručka strojního inženýra - Obecné strojní části 2 Praha: Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-202-5

[Juvinall 1983] Juvinall, R. C.: Fundamentals of Machine Component Design, John Wiley&Sons, New York, 1983, ISBN 0-471-06485-8

[Kenneth&McKee1991] Kenneth, S. E., McKee, R.B.: Fundamentals of Mechanical Component Design, McGraw-Hill, New York, 1991, ISBN 0-07-019102-6

[Klepš&Nožička 1986] Klepš, Z., Nožička, J.: Technické tabulky; SNTL, Praha, 1986

[Kochman a kol. 1955] Kochman, J. a kol.: Části strojů - Díl I; Spojování částí strojů a spojovací části; Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha, 1956

[Kříž&Vávra 1994] Kříž, R. Vávra, P.: Strojírenská příručka, 5. svazek; Technika konstruování, Technická dokumentace, Části strojů a převody (1. část); Praha: Scientia, 1994, ISBN 80-85827-59-X

[Kříž&Vávra 1995] Kříž, R., Vávra, P.: Strojírenská příručka, 6. svazek; Praha: Scientia, 1995, ISBN 80-85827-88-3

[Málik a kol. 2007] Málik, L. a kol.: Konštruovanie, Žilinská univerzita v Žilině, 2007, ISBN 978-80-8070-971-6

[Medvecký a kol. 1999] Medvecký, Š. a kol.: Základy konštruovania, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 1999, ISBN 80-7100-547-9

[Medvecký a kol. 2007] Medvecký, Š. a kol.: Konštruovanie 1, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, Žilina, 2007, ISBN 978-80-8070-640-1

[Meerkamm 1985] Meerkamm, H.: Maschinenelemente, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 1985

[Moravec 2001] Moravec, V.: Konstrukce strojů a zařízení II – Čelní ozubená kola. Praha: MONTANEX a.s., 2000, ISBN 80-7225-051-5.

[Mott 2004] Mott, R. L.: Machine Elements in Mechanical Design, Upper Saddle River, New Jersey, 2004, ISBN 0-13-061885-3

[Němec a kol. 1989] Němec, J. a kol.: Pružnost a pevnost ve strojírnosti, SNTL, Praha, 1989, ISBN 80-03-00193-5

[Neukirchner 1976] Neukirchner, J.: Fachwissen des Ingenieurs; Veb Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig, 1976

[Niemann a kol. 2001] Niemann, V. a kol.: Maschinen-elemente. Berlin: Springer, 2001, ISBN 3-540-65816-5

[Orlov a kol. 1979] Orlov, P. I.: Základy konštruovania, Alfa vydavateľstvo Technickej a ekonomickej literatury, Bratislava, 1979

[Pešík 2001] Pešík, L.: Části strojů, stručný přehled, 1. díl, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2001, ISBN 80-7083-584-2

[Pešík 2002] Pešík, L.: Části strojů, stručný přehled, 2. díl, TU v Libereci, Liberec: Spoltisk s.r.o., 2002, ISBN 80-7083-608-3

[Roloff a kol. 1975] Roloff, H. a kol.: Aufgabesammlung Maschinenelementen, F. Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1975, ISBN 3-528-34015-0

[Shigley 1986] Shigley, J. E.: Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1983, ISBN 0-07-056898-7

[Shigley a kol. 2008] (Shigley, J. E.,) Budynas, R. G., Nisbett K. J.: Shigley´s Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book Company, New York, 2008, ISBN 978-0-07-312193-2

[Shigley a kol. 2010] Shigley, J. E., Mischke, R. Ch., Budynas, R. G.: Konstruování strojních součástí. Z angl. orig. Mechanical Engineering Design, 7th ed. 2004 přel. M. Hartl at al. Eds. M. Hartl a M. Vlč. VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, Brno, 2010, ISBN 978-80-214-2629-0

[Shigley&Mitchell 1983] Shigley, J.E., Mitchell, L.D.: Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983, ISBN 0-07-056888-X

[Schmidt&Dobrovolný 1956] Schmidt, Z., Dobrovolný, B.: Technická příručka – Výpočty a konstrukce; Práce – Vydavatelstvo ROH, Praha, 1956

[Spotts 1961] Spotts, M. F.: Design of Machine Elements, Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1961

MATERIALS IN MACHINE INDUSTRY

1. Industrial Materials in Current Practice

Generally, industrial materials are divided into construction materials, i.e. the materials for producing technical constructions (machine members, building parts, electrical and technical components, etc.), and auxiliary materials (oils, fuels, moulding substances, chemical reagents, coolants, etc.). It is necessary to systematise the quality properties of industrial materials. For this purpose, variables that make the basis for evaluation and measuring are used. These are atomic, mechanical, thermal, chemical, electrical, magnetic, acoustic, optical variables. In the production process, the behaviour of materials is evaluated by means of technological properties that determine the possibility of their processing into a desired shape or the possibility to achieve the required properties, such as castability, hardenability, etc. Similarly, technological properties must be assessed by standard measuring gauges based on standard methods and units [10], [12], [14], [71]. Currently, there are known about 20 000 alloys of industrial metals, out of which 12 000 are iron alloys with alloying elements, such as C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, Nb, Ta, Ti, Zr and impurities O, S, P, etc. There are about 2 000 aluminium alloys with additional metals, such as Cu, Mg, Si, Zn, Mn, Ni, Sn, Fe, Pb, Zr and O, H impurities. There are about 5 000 copper alloys with additional metals, such as Zn, Sn, Al, Mn, Ni, Fe, Pb, Zr and O, H impurities. Other metal alloys are used in various industrial sectors. The main groups of materials used in current practice are shown in Figure 1.1.



Figure 1.1 Main groups of materials [71]

Legend: ocel – steel, liatina – cast, kovy – metals, zliatiny kovov – metal alloys, keramika – ceramics, oxidová – oxide ceramics, neoxidová – non-oxide ceramics, sklo – glass, elastoméry – elastomers, kaučuk – caoutchouc, guma – rubber, polyméry – polymers, plastoméry – plastomers, duroméry – thermoset, hybridní materiály – hybrid materials, kompozity - composites

Another division of industrial metals are based on required physical properties, practical use and other perspectives of their use are shown in Figure 1.2.

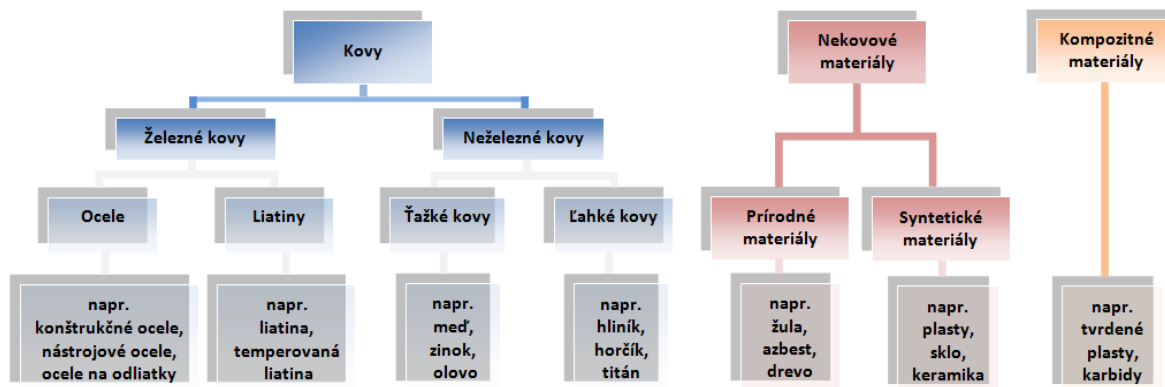


Figure 1.2 Classification of materials [71]

Kovy – metals, železné kovy – ferrous metal, neželezné kovy – non-ferrous metals, ocele – steels, liatiny – cast iron, ťažké kovy – heavy metals, ľahké kovy – light metals, např. konstrukčné ocele, nástrojové ocele, ocele na odliatky – e.g. structural steel, tool steel, steel for casting, liatina, temperovaná liatina – cast, malleable cast iron, meď, zinok, olovo – copper, zinc, lead, hliník, horčík, titan – aluminium, magnesium, titanium, nekovové materiály – non-metallic materials, prírodné materiály – natural materials, syntetické materiály – synthetic materials, žula, azbest, drevo – granite, asbestos, wood, plasty, sklo, keramika – plastics, glass, ceramics, kompozitné materiály – composite materials, tvrdené plasty, karbidy – hardened plastics, carbides

1.1. Description of individual material groups

Steel: malleable iron alloys containing iron and a small amount of carbon whose content is smaller than 2.14 %, that is below the limit of solubility in austenite. Alloyed steels also contain noble metals. Steel is the main construction material for manufacturing machines, engines, constructions, especially for their mechanically stressed parts (shafts, gears, screws, springs, pins and camshafts [11], [19], [26], [27].

Cast iron: iron and carbon alloys (2.14 % - 6.67% C), with a good castability. They are used for casting components of a complex shape, e.g. engine boxes or their parts.

Heavy non-ferrous metals: (density $\rho > 5 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$). This includes e.g. copper, zinc, chromium, nickel, silver, tin, tungsten. They are used either in pure form (for their specific properties), or in alloys.

Light metals: (density $\rho < 5 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$). This includes aluminium, magnesium, titanium. They have relatively high strength and good corrosion resistance at relatively low density. Aluminium is used e.g. for manufacturing engine pistons and light car and aircraft parts.

Natural materials: granite, mica, diamonds, wood, ivory, cotton, wool, silk. In mechanical engineering, e.g. granite is used as a drawing board. It has low heat conductivity and compared to cast iron board, it has higher temperature.

Synthetic materials: they include a large group of macromolecular polymers of simple organic substances, called plastics, and also glass and ceramics. Plastics are light, water resistant, do not conduct electricity, thermal insulators, resistant to chemicals. They have various mechanical properties; some plastics are elastic, while some are rigid and brittle. Plastics have low thermal resistance. Plastics are used for a number of purposes, from production of tyres to gears. Due to their hardness and abrasion resistance, ceramic materials are used for nozzles, cutting tools, packing rings.

Composite materials: materials consisting of two or more kinds of materials. Fiberglass consists of artificial resin and glass fibre fabric. They are tough, light, and strong. They are used for manufacturing containers, kayaks, pools or printed circuit boards. Another type of composite material is cemented carbide. They combine carbide grand hardness and binder metals toughness. They are used for making cutting tools of machine tools.

Production of materials: materials are used mainly from natural raw materials. Raw materials are in the deposits of the Earth´s crust. Metals are obtained from metal ores, plastics are mostly produced from oil and natural gas. Materials from raw materials are obtained mainly by thermal and chemical processes. Materials come into engineering production in the form of semi-finished products, e.g. profiles, tin sheets or wires. Natural materials are obtained directly from natural deposits (e.g. granite from quarries).

Auxiliary materials and energy: in machine parts production and assembly, auxiliary materials and energy are necessary for powering machines and for thermal processes. E.g. in the case of turning the components, machining (cutting) fluid is necessary for cooling and lubricating the tool edge, lubrication for lubricating lathe bearings, and electric energy for powering engines and the control system.

2. General Material Properties

2.1. Physical properties of materials

Density

Material density is a ratio of its mass m and volume V . In the case of gases, density is given at normal atmospheric pressure [8], [10], [11].

Melting temperature

Melting temperature is the temperature at which the material starts to melt (under normal pressure). The highest melting temperature is for compound carbide (composed of four parts of TaC and one part of zirconium carbide) - 4000 °C, diamonds (3 816 °C) and graphite (3 530 °C). Pure metals have a precise melting temperature. Alloys, e.g. steels have only one melting temperature only at a certain composition (at eutectic point). In other cases they pass from solid to liquid state at a certain temperature range (between the solidus and liquidus curves in equilibrium diagram).

Electric conductivity

Electric conductivity is the ability to conduct electric current. It corresponds to the current at the unit voltage. Good conductors are e.g. silver, copper and aluminium. They are used as materials for manufacturing conductors. Materials that do not conduct electric current are called insulators. These include plastics, glass, and ceramics.

(Longitudinal) thermal expansion

Thermal coefficient of expansion in longitudinal direction α indicates expansion in the longitudinal direction Δl of a body of a 1-m length at the temperature change of $\Delta t = 1$ °C. Longitudinal thermal expansion Δl has to be considered e.g. in the case of measuring tools, built-in components or castings. Thermal shrinkage has to be compensated by allowances.

Thermal conductivity

Thermal conductivity is the degree of the ability of a material to conduct thermal energy. Materials with high thermal conductivity are metals, especially copper, aluminium, and iron or steel. Materials with low thermal conductivity are plastics, glass, and air. These are used for thermal insulation.

2.2. Material mechanical properties

Due to the forces acting on material (solid body), the material or solid body deforms. Depending on the internal structure of the material, the resulting deformation is either permanent (plastic) or temporary (elastic). A saw made of hardened tool steel can be bent using increasing force and then it could be returned back to its original shape with acting of decreasing force, since it is elastic. Its structure is not changed by deformation, only the distances of the atoms in the crystal lattice change. Within certain deformation range, some materials behave as elastic for a certain period of time (as each material wears by periodically repeated stress). This property is called plasticity (malleability, ductility). Materials that are malleable or ductile include e.g. steel heated to forging temperature or pure iron [13], [14], [15].

Elastic and plastic deformation

A bar made of unalloyed structural steel shows both plastic and elastic deformation, when bent. In the case of large deformation, the bar returns only partially into its initial shape, and permanent deformation remains. Materials showing elastic and plastic deformation behaviour include e.g. non-hardened steel, alloys of copper and aluminium. Various materials can show elastic, plastic and elastic and plastic deformation behaviour.

Toughness, brittleness, hardness

Tough material is a material that could be deformed elastically and plastically, but the deformation is with great material resistance. Very tough materials include structural steel and stainless steel. Brittle materials can be only deformed slightly when using great force, as it is not possible to change the material crystal structure. In the case of larger deformation, the material breaks or breaks into more pieces. Brittle materials are e.g. hard materials, such as precious stones, glass, ceramic, and in some way also hardened carbon steel (with a large amount of martensite in its structure). Material hardness refers to the resistance of a material against penetration of a foreign body into it, and it is assessed by the size of the deformation made in the test body at certain pressure or impact energy. The hardest material is boron carbide B_4C and diamond. Hard materials include sintered carbides, precious stones, and materials based on Al_2O_3 (corundum), carbides (carborundum SiC , TiC), glass, ceramic and hardened steel (with martensite in its structure). Soft materials include aluminium and copper. Hardness is required e.g. for tools, friction and sliding surfaces.

2.3. Technological properties of materials

Technological properties are characteristics of material processing by various technological procedures [16], [18], [19].

Castability: is the ability of material to make thin melt that completely fills the mould and do not form cavities during solidification. The materials with good castability are e.g. various types of cast iron, aluminium alloys for castings, copper and zinc alloys, and zinc alloys.

Malleability: is the ability of a material to make a plastic deformation by force. The hot-forming methods are e.g. hot rolling and forging. Cold-forming includes e.g. cold rolling, bending, brake bending and deep drawing. Materials that could be well formed are e.g. low carbon steel, aluminium alloys, copper alloys used for casting. Cast iron cannot be formed.

Machinability: machinable materials are suitable for cutting operation. It indicates whether and under what conditions the material can be cut, e.g. lathed, milled or grinded. The evaluation criteria for machinability are e.g. the quality of the machined surface, the conditions (difficulty) of cutting operation and the durability of the tool. Metals are usually well machinable, especially non-alloyed and low-alloyed steels and cast iron, copper alloys, and aluminium alloys. Materials with worse machinability are e.g. elastic and tough materials, such as pure copper, pure aluminium, stainless steel, titanium, and hard materials, e.g. hardened steel.

Weldability: indicates whether the material is suitable for welding or tip welding. Well weldable materials are non-alloyed and low-alloyed steels with a low carbon content. By special procedures it is possible to weld high-alloyed steels, alloys, and copper alloys.

Hardenability and refining: it is the ability of material to increase hardness or strength of a material by suitable heat processing. Most steels can be hardened, refining is only possible in the case of some kinds of alloys and aluminium alloys.

2.4. Chemical properties

Chemical properties of materials are important in terms of the resistance to the influence of the environment, aggressive substances and high temperatures (in terms of supporting chemical effects of the environment) on the material.

Corrosive behaviour – describes the material behaviour in moist air, industrial atmosphere, water or in any other aggressive substances. Disruption of the material structure starting on its surface caused by chemical and electrochemical processes is called corrosion. Corrosion-resistant materials are stainless steel and most copper and aluminium materials. The materials which are not resistant to corrosion caused by moist air or industrial atmosphere include non-alloyed and low-alloyed steels and cast iron, and these materials corrode. Surface treatment using protective coating or any other protective coating helps prevent corrosion for a long time [21], [22], [23]. Another chemical proper-

ty is the resistance to dross formation. It describes the behaviour of the material at high temperature of the air. In the case of some materials, e.g. plastics, it is necessary also observe flammability and when the materials are used, loss of strength as well as the ignition temperature shall be taken into account. Plastics also change their properties when exposed to sunlight, especial to its UV.

Michael F. Ashby [2] in his work Materials Selection in Mechanical Design made a set of material charts maps. They represent the dependencies of the most important material properties for the basic groups of materials: metals, ceramic, glass, polymers, elastomers, and hybrid materials (composites, foams, natural materials). In the set of material chart maps, he determined the following dependencies: Young´s modulus – material density, Young´s modulus – tensile strength, specific Young´s modulus – specific tensile strength, loss factor – Young´s modulus, thermal conductivity – electric resistance, thermal conductivity – variance heat, thermal expansion coefficient – Young´s modulus, strength – maximum operating temperature, dry friction coefficient to steel and Young´s modulus – relative cost per unit volume.

3.Criteria for Choosing Materials

Primary requirement in choosing a suitable material is almost always its strength. It is important to combine the material characteristics (strength, toughness, resistance to cyclic loading, wear, temperature, corrosion, etc.) with required utility properties of a future component of system in the optimal way. [71].

Besides material characteristics, there are other criteria to be considered when choosing a suitable material:

Production technology – besides the viability of a technology for a given product, selection of material shall be based on the findings on the impact on the composition, structure, and mechanical properties. If possible in terms of other criteria, priority shall be given to non-waste technologies, e.g. powder metallurgy, precision casting, enabling to maximize the using of the material and minimize machining (which is a technology associated with the highest costs).

Material and production costs – the economy of the choice is a complex problem including the price of the selected material as well as its processing technologies. For example, replacing steel with aluminium alloy or polymer may appear to be less cost-effective. However, the calculation shall also include lower costs of transports, surface treatment, machining.

Economy of the selected material use – it´s also a complex problem. The impact of the selected material on the environment (direct or indirect) has many aspects and it is hard to quantify. In addition, it is also necessary to consider the possibility of recycling the selected material.

Other criteria – these include e.g. the necessity to consider the range of semi-finished products and available materials, limited available production equipment, the reliability of the input data (i.e. the extent to which the test defines material properties, the extent to which the sample corresponds to a real component, knowledge of load and environment, etc.).

The choice of a material is a complex process, and the great amount of available materials makes it even more complicated. However, this is not the main cause of its complexity. When choosing a material, it is necessary to take into account a large number of various aspects and their mutual relations and influences. For example, the relation of a material (its technological, mechanical, physical, and chemical properties, its price, assortment, etc.), technologies (especially rational production), and structure (shape and function of a product, requirements placed on it). Moreover, it is necessary to consider also material and production costs, energy and raw material demands, possible impact on the environment including e.g. material recycling [28], [32], [42].

The choice of a material for a given product cannot be independent of the technology that has to be used to manufacture the given product (its shape, surface, etc.). The product function, its structure, material, and technology interact (Figure 3.1). The product function (e.g. transmission of load, heat, energy storage, etc.) determines the choice of the material that would be able to meet the required criteria. The technology is influenced by the properties of the material used (its malleability, machinability, weldability, castability, heat treatment, etc.). the technology used influence the possibility to achieve the required shape, the precision of the shape, the surface quality, and price.

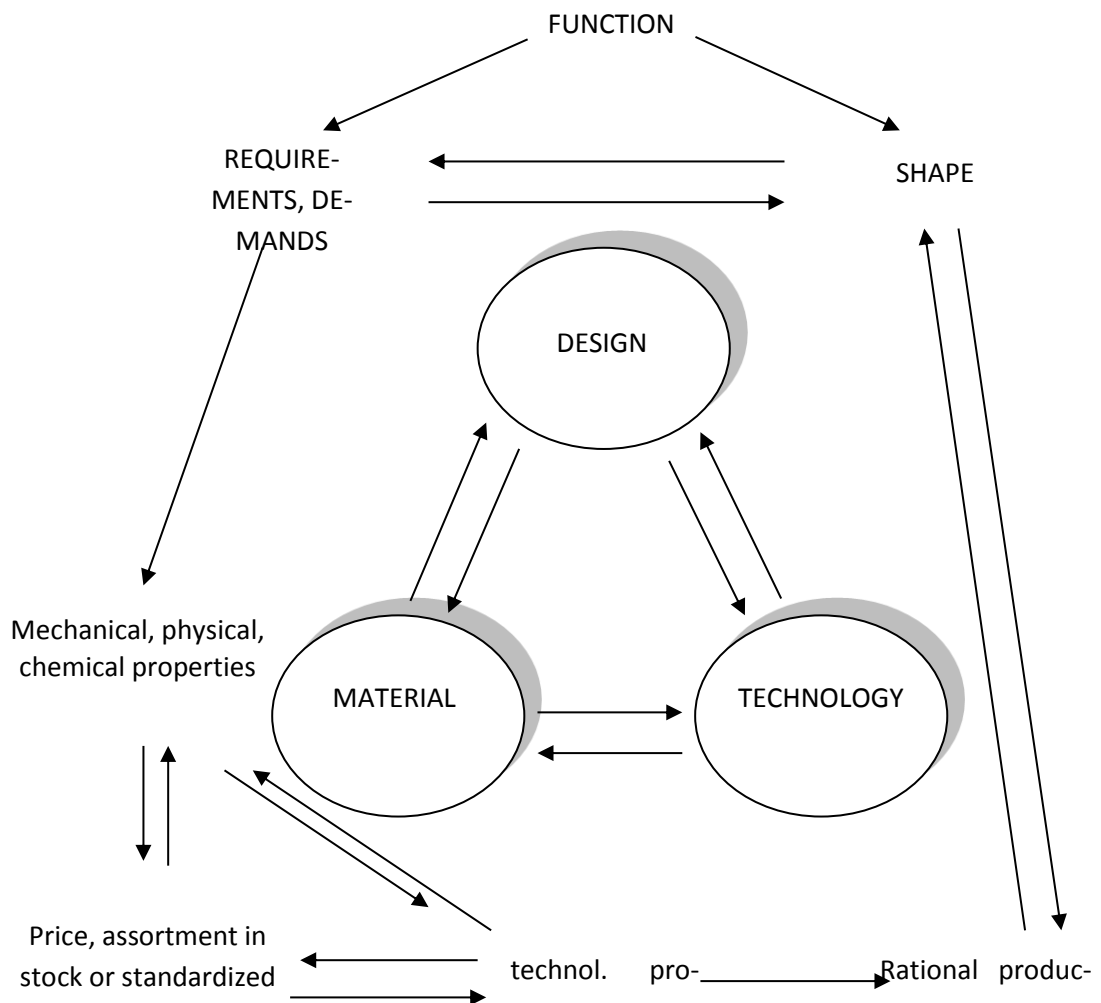


Figure 3.1 Relation between product properties (shape, function), material, and technology [28]

The product design (its shape) limits the choice of a material and technology. The more complicated the design is, the narrower is the specification and higher interaction.

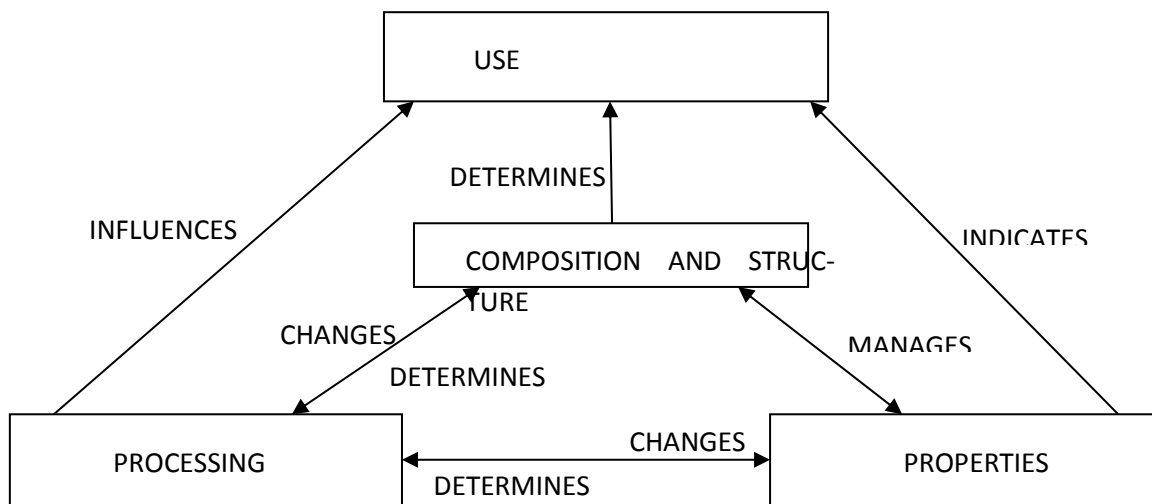


Figure 3.2 Relation between material composition and structure, processing, properties and utility properties of product [28]

It results from Figure 3.2, material properties are determined by its composition and structure influenced (changed) by the technology used (e.g. strengthening in cold forming) and vice versa, they determine using of specific technology. The composition and structure of materials is given by primary and secondary technologies and are limiting for achieving required utility properties of a product. Besides the structure and composition of a material, the product utility properties are influenced by the properties of the material used and its processing technology. The whole system of mutual interactions (utility properties – technologies – composition, structure, and properties of material) is also influenced by economic parameters, i.e. costs of material and technology used, as well as by the impact of all reactive elements.

3.1. Selection of material in the product design process

Designing a new product is an interactive process starting with an idea and finishing with a resulting product that corresponds with the initial idea or market requirement (Figure 3.3). Between the beginning and end of this process there are three stages of designing: concept, embodying, and detailed design [33], [34], [35].

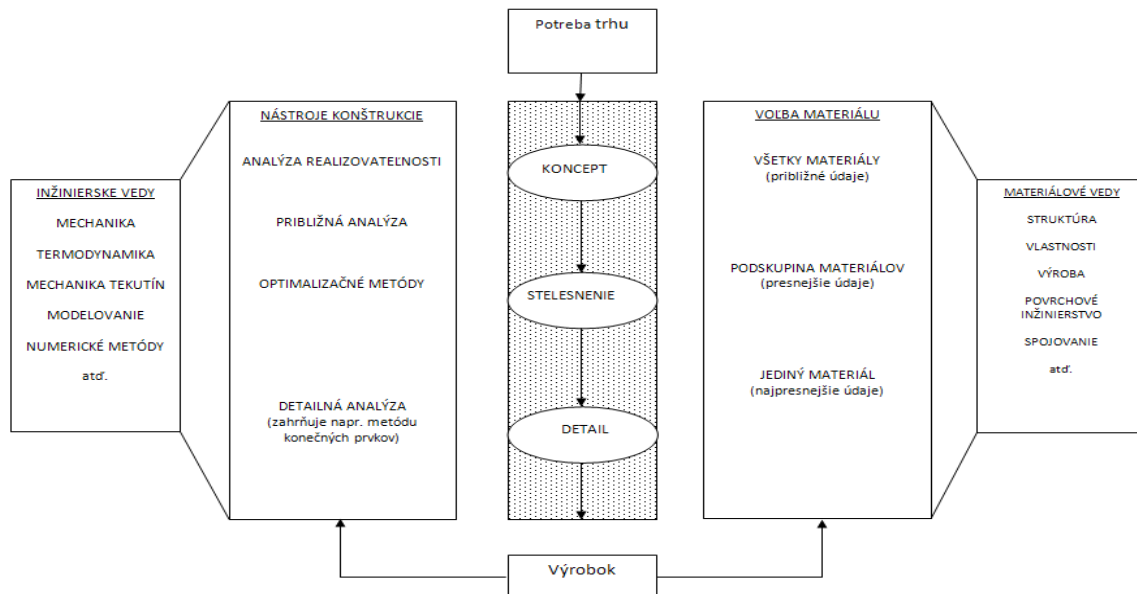


Figure 3.3 Design of a new product – flow chart [28]

Legend: potreba trhu – market demand, koncept – concept, stelesnenie – embodying, výrobok – product, nástroje konštrukcie – construction tools, analýza realizovateľnosti – analysis of feasibility, optimalizačné metódy – optimization methods, detailná analýza (zahrňuje napr. Metódu konečných prvkov) – detailed analysis (includes e.g. finite element method, inžinierske vedy – engineering science, mechanika – mechanics, termodynamika – thermodynamics, mechanika tekutín – fluid mechanics, modelovanie – modelling, numerické metódy – numerical methods, voľba materiálu – selection of material, všetky materiály (približne údaje) – all materials (approx. details), podskupina materiálov (presnejšie údaje) – materials subgroup (more detailed data), jediný materiál (najpresnejšie údaje) – one material (the most precise data), materiálové vedy – material science, štruktúra – structure, vlastnosti – properties, výroba – production, povrchové inžinierstvo – surface engineering, spojovanie – joining

In the first stage of the conceptual design, the designer first considers all alternative work processes or scheme of functions the system will ensure. In the embodying stage, the designer examines the functional structure and analyses the individual activities, including the design of the individual parts dimensions. This stage ends with a project (drawing of the system) as a basis for a detailed design. The left part of the figure shows the tools and technologies the designer has at disposal, or which they use. The figure shows that the selection of the material is in line with a design in its three stages, with the aim to choose the material optimally ensuring the product utility properties. In the first stage (conceptual design), a wide range of materials are considered that could fulfil the basic conditions, e.g. working temperature, resistance to corrosion in the given environment, etc. Based on the required properties, it is decided whether the component will be made of metal, plastics, ceramic, or composite material. At the same time, it is also determined whether a metal component will be used in cast or formed state.

In the second stage, a more specified group of materials are used that would better meet the requirements, e.g. of the least expensive welding technology, suitable surface treatment, etc. Within the detailed design, list of materials is reduced into one (or a few materials in exceptional cases), the most suitable one(s) and also a suitable technology is

used. Each of the stage corresponds with different demands on the level of material data. At the stage of the conceptual design, the designer needs only approximate data when considering different conceptual variants. In the second stage, the designer works with a more precise data provided by material databases.

At the stage of a detailed design, the designer needs as precise data as possible about one, or several materials. In some cases, the data from standards or from manufactures are not sufficient and more data, e.g. from laboratory tests, are required. However, it can happen that the product fails to operate (either in terms of function or inadequate material), and the whole design process is repeated (with the information about the failure) at one or more stages.

3.2. Material selection process

Material selection is carried out mostly for two reasons:

- Selection of material and technologies for a new product (original design)
- Considering alternative materials and production processes for an existing product

A new product usually brings new work principles; therefore for choosing the optimal material and technology, it is necessary to consider as wide range of materials as possible [44], [45], [46]. In the second case (alternative material), the situation is different. There is usually a wide number of reasons for changing or innovating the material or technology currently used, including:

- Need to adapt to required functions of parametric changes of the product in relation with the alternative design
- Effort to lower the price of the material
- reduction of production costs
- using the advantages of a new material or technology
- solving problems related to the material processing technology
- application of the recommendations resulting from a fractographic analysis of damaged products

In the case of choosing a material for a new product, the procedure shall be as follows:

- To define the function the product will have and translate it into the required material properties (strength, resistance to corrosion, etc.) and include other factors, such as price or availability of the material.
- To define requirements (size and shape of the component, required tolerance, surface quality, number of components, etc.)
- To compare the required properties with the parameters and properties of as

large number of materials as possible; to choose several materials that could meet the requirements. It is also useful to determine minimum and maximum values the material shall have in terms of these properties

- To assess selected materials in more details (e.g. their availability in the given semi-finished product dimensions, price, behaviour in operation, etc.)
- To choose one material on the basis of the results of detailed materials analysis and determine the data and specificities for the construction

When choosing an alternative material for an existing product, the following procedure shall be used:

- To characterize utility properties, production requirements, and price of the material currently used
- To choose characteristics that shall be improved
- To find alternative material and (or) a technology the procedure is similar to the previous case – points 1-3) and compare its / their parameters in detail with those currently used.

3.3. Relation of material and technology

It is a very narrow and at the same time quite complicated relationship, since in most cases, there are several or a large number of production processes to manufacture a given component. The basis is to choose a material and technology to achieve the maximum quality of the component being produced at the lowest price possible. Choosing the optimal technology is complicated due to a number of factors that have to be taken into account, such as the quantity of the components manufacture, shape, requirements for surface roughness and precision, availability of production equipment, impact of technologies used on the environment, costs, etc. [40], [41], [42], [43].

The choice of material determines the technologies that could be used for the manufacturing of the given component. The overview of the most frequently used technologies for processing a certain material group is shown in Table 3.1, according to [80]. When choosing a material, it is also necessary to consider other aspects, such as the size of the component, its shape, complexity, tolerance, surface quality, and production costs. From these points of view, the key factors for assessing the suitability of individual technologies are mainly the cycle length (time necessary for manufacturing one piece), quality (required tolerance, surface roughness, lack of cracking, pores, dross, etc.), flexibility (the ability to adapt the given technology to the production of another product or its variant), usability of the material, and production costs.

Table 3.1 Utilization of production processes for selected material groups [80]

Technology	Cast iron	Carbon steel	Alloyed steel	Stainless steel	Al and its alloys	Cu and its alloys	Zn and its alloys	Mg and its alloys	Ti and its alloys	Ni and its alloys	Refractory metals	Plastics	Composites
Casting / forming													
Sand casting	•	•	•	•	•	•	-	•	-	•	-	X	X
Ceramic mould casting	-	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	X	X
Metal mould casting	X	X	X	X	•	-	•	•	X	X	X	X	X
Die casting	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	-
Investment casting	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Blow moulding	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Centrifugal casting	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Forging/bulk-forming													
Backward extrusion	X	•	•	-	•	•	•	-	X	X	X	X	X
Cold heading	X	•	•	•	•	•		-	X	-	X	X	X
Die forging	X	•	•	•	•	•	X	•	•	-	-	X	X

Pressing and sintering (PM)	X	•	•	•	•	•	X	•	-	•	•	X	X
Hot extrusion	X	•	-	-	•	•	X	•	-	-	-	X	X
Rotary swaging	X	•	•	•	•	-	-	•	X	•	•	X	X
Machining													
Machining semi-finished products	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-
Electrochemical machining	•	•	•	•	-	-	-	-	•	•	-	X	X
Spark erosion work	X	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	X	X
Wire cutting	X	•	•	•	•	•	-	-	-	•	-	•	X
Pressing													
Sheet metal forming	X	•	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X	X
Forming of heated foil	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	•	X
Metal spinning	X	•	-	•	•	•	•	-	-	-	-	X	X

3.4. Choosing material in relation to the environment

The impact of the material selected on the environment has many aspects and it is hard to quantify. The direct impact (e.g. toxicity) must be excluded. A number of both organic and inorganic elements have toxic properties. Toxic effects of various substances can be basically divided into *immediate* and *consequent*, in the later the classification is into *mutagenic*, *carcinogenic* and *toxic for reproduction*. The detailed study of metals effects on human body increases the set of the metals harmful to health. Besides recently identified toxic metals (Hg, Be, As and Pb), other twelve metals are considered harmful. The metals with provably harmful effect include As, Cd, Hg, Se and Th, while the toxicity of other metals (Co, Ni, Pb, V, Zn) depends on the size and number of doses. Recently, there have been discussions about the influence aluminium possibly has on senile dementia. Unlike some extremely toxic but degradable compounds (e.g. cyanides), the possibility of metal waste disposal is limited to metal extraction or binding metals to minimally soluble form. The issue of toxic elements in metals is given considerable attention, and consequences are immediately drawn from the findings [63], [64], [65].

The main indirect effects include:

- Raw materials, mining, processing of raw materials
- Energy intensity
- Safety and long-term reliability
- Possibility of recycling.

In the toxicology of polymers, the effects of residual monomers, additives, and substances generated by polymers disposal are considerable. Of the many harmful monomers (e.g. vinyl chloride, acrylonitrile, methyl methacrylate, etc.), the most important is the first mentioned carcinogenic monomers, whose content in polyvinyl chloride is limited to 1 mg/kg.

Metallurgy, chemistry, and other industries impose burden on the environment in the form of waste that cannot be recycled in basic technology. Most metallurgical processes generate all kinds of waste – gaseous (carbon oxides, nitrogen oxides, sulphur oxides), liquid (waste water, sludge), and solid (slag, dust). One of the environmental parameters for assessing the industrial gaseous emissions is specific primary energy consumption related to a certain range of products.

Of the individual material groups, steel is almost completely recyclable. However, this is associated with a number of problems and increased costs related to sorting and treatment of waste from chip machining or sorting returnable waste. A known problem of recoverable steel waste is the increasing content of copper and surfactants. Non-ferrous metals are about 90% recyclable, they do not contain any fillers (chalk, talc, glass, etc.),

which are added in order to improve the mechanical properties. Thermosetting polymers cannot be recycled. Elastomers (natural rubber, rubber) cannot be recycled but additional application possibilities are sought for them.

For near future, products facilitating recycling are promising. Their production must follow several basic rules:

- To use materials that are recyclable or can be used for some other purpose,
- To minimize the number of materials used for manufacturing one product or to use materials that could be combined well in terms of recycling,
- To join non-combinable materials in a demountable manner,
- Mark plastics.

A new development trend is degradable, especially organic, materials, that is, plastics that could be incorporated into the natural cycle of substances. In the degradation process, hydrolytic, oxidation and photo degradation mechanisms are used, that lead to cutting the molecular chains into shorter structures that are readily subject to biodegradation by microorganisms. Degradable plastics can decompose anywhere in the nature, preferably in landfills or at sea levels. Biodegradation is very effective when composting degradable plastics, which leads to creation of humus. Compost fertilizer can be used to grow some agricultural crops that are basic raw material for production of degradable plastics that is based on the combination of vegetable and synthetic raw materials. This way a suitable polymer material is incorporated into a closed natural cycle without any harmful effects on the environment. Some limitations of this trend can result from its contraction with the requirement for a long durability of a product.

Figure 3.4 shows a typical material cycle. The aim is to use as little non-recyclable waste as possible

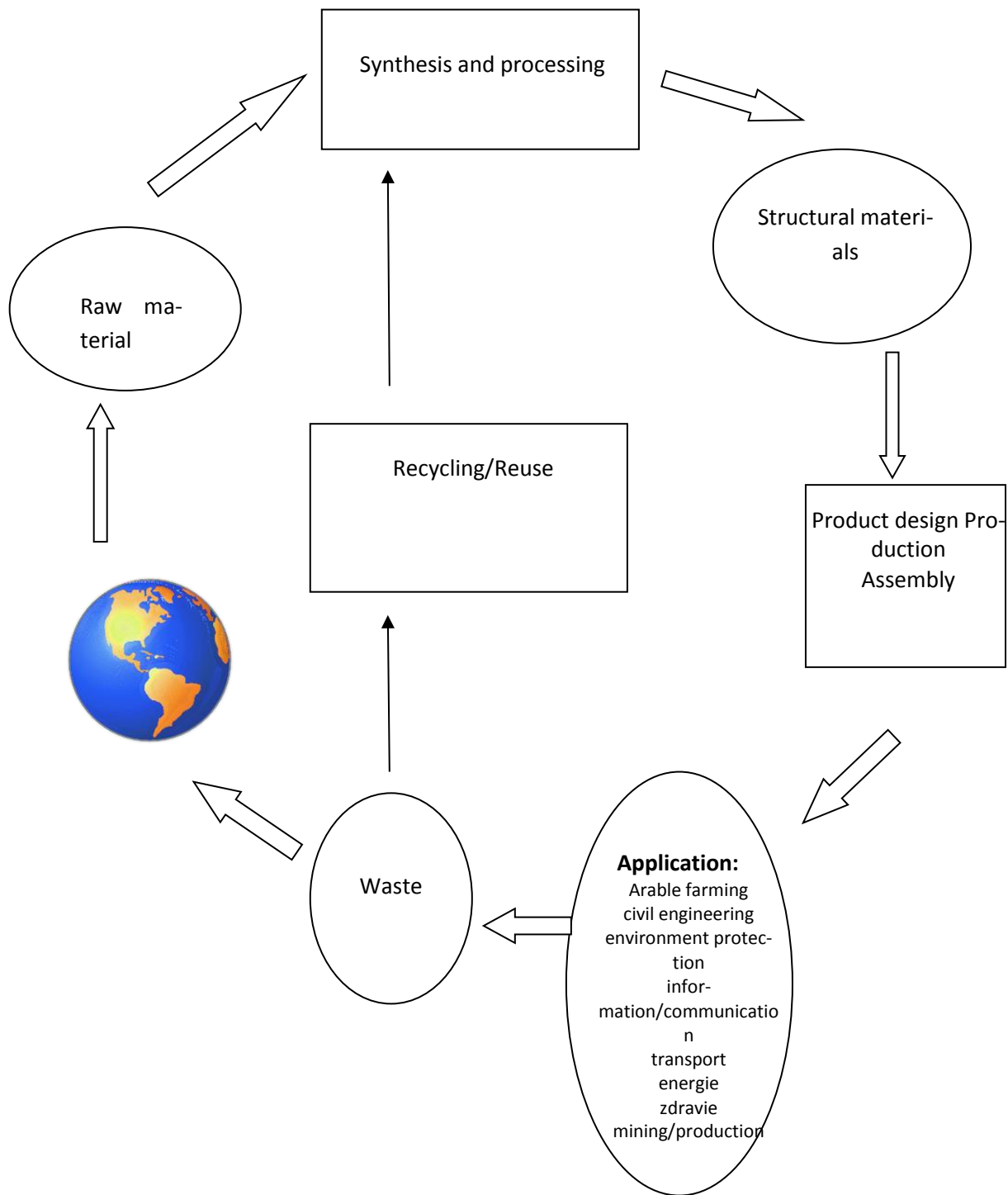


Figure 3.4 Typical material cycle [71]

Recycling of materials (products) has a number of practical forms, ranging from recovery procedures enabling repeated use and wear of a component (e.g. build-up welding of

other layers onto worn parts), using the worn component as a raw material for making a new component, to energy recovery (e.g. combustion of plastics).

A classic material cycle with variant recycling steps in the production cycle (processing of primary waste in the primary cycle), or in product use (secondary cycle – regeneration processes), use of product after its end of life (tertiary cycle) to transformation of the product into another material or energy.

4. Marking of Materials

Different types of materials are commonly designated with markings composed of either letters or numbers or a combination of both. In each country that produces it, steel is designated according to national technical standards as well as names (trademarks) of individual manufacturers. Trademarks are put on steel that has not yet been standardized in a given country or steel that has been normalized to recognize a manufacturer's origin. Marking systems vary greatly in every country. Recently, however, individual EU countries have been increasingly adopting a marking system according to European standards (EN), which gradually makes the process more unified. Still, technical documentation from the above countries very often contains markings according to the national technical standards [51], [52], [53], [71].

4.1. Division and marking of steels according to European standards

Division and marking of steels in Europe are being unified on the basis of European standards (EN). All CEN members are required to comply with the standards, with the members being national standards organizations of 18 European countries, namely Belgium, Denmark, Finland, France, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Germany, Netherlands, Norway, Portugal, Austria, Greece, Spain, Sweden, Switzerland, Great Britain, thus virtually all Western European countries. However, other European countries, including the Czech Republic and Slovakia, are also gradually taking on the standards. In the Czech Republic, they are issued as CSN EN replacing the existing CSN standards. As a result, the EN will become European-wide standards, and it is therefore necessary for one to become familiar with them.

Division of steels is given by the European standard EN 10020-88 (ČSN EN 10020-94) which defines:

- the term forming steel,
- steel grades according to chemical composition and their division to unalloyed and alloyed,
- main quality classes of steels based on their properties and purpose of use.

Abbreviations related to steel marking systems are listed in the following standard: EN 10027-1-92 and its supplement IC 10-93 (information circular) incorporated into ČSN as ČSN ECISS IC 10-95. Numerical marking systems are stated in EN 10027-2-92 (ČSN EN 10 027-2-95).

As regards forming steels, they are materials whose iron content by weight is larger than any other element, and which contain less than 2% C and include other elements. Although some chromium steels contain more than 2% C, the 2% mark is generally consid-

ered to be the borderline for distinguishing between steel and cast iron.

Division of steels according to their chemical composition into unalloyed and alloyed is based on the minimum content of elements (as stated in the above standard) or delivery conditions. If only the maximum value of the content in melt is prescribed for the elements, 70% of the value is decisive (except for Mn) for dividing steels into unalloyed and alloyed. As for manganese, the limiting content is 1,80%, whereas the chemical composition of their base material is crucial for multilayer and clad products

Unalloyed steels are those whose determining contents of individual elements in no way reach limit contents given in the table of limiting contents of alloying elements for the division of steels into unalloyed and alloyed.

Alloyed steels are those whose contents of individual elements at least in one case reach or exceed limit contents given in the table of limiting contents of alloying elements for the division of steels into unalloyed and alloyed.

4.2. Unalloyed steels

4.2.1. Common quality steels

Common quality steels are steels with quality requirements that do not involve special precautions in production. However, they still have to meet the following conditions: they are not intended for heat treatment (where, according to EN 10020, no type of annealing, e.g. normalizing annealing, is considered as heat treatment); requirements to be met for unprocessed or normalized annealing state are in accordance with values given in the table of limit values for common quality steels. With the exception of the Si and Mn contents, no other contents of alloying elements are prescribed, [12], [71].

4.2.2. Unalloyed quality steels

They are all unalloyed steels not included in the grades of conventional quality steels and stainless steels. Such steels do not have a prescribed uniform heat treatment reaction or a required degree of purity with respect to non-metallic inclusions. In comparison with conventional quality steels, more stringent or additional requirements are imposed on them (e.g. their susceptibility to brittle fracture, grain size, formability). Thus, their production requires special care.

4.2.3. Unalloyed stainless steels

Unlike the aforementioned grade of steels, unalloyed stainless steels exhibit a higher

degree of purity. They are mostly intended for refinement or surface hardening and are characterized in that they react more evenly to such treatment. The desired properties are achieved by accurately determining chemical compositions as well as production and testing conditions – often in combinations and within restricted limits (high or narrowly defined strength or hardenability in conjunction with high demands on formability, weldability, toughness, etc.).

Unalloyed stainless steels include:

- steels with impact requirements in a refined state;
- steels with requirements for a turbid layer depth or surface hardness in a turbid or opacified, or released, state;
- steels with very low non-metallic content requirements (including steels for which the content may be agreed);
- steels with a prescribed maximum content of P and S = 0.020% in the melt and 0.025% in the finished product (e.g. wires for highly stressed springs);
- steels with minimum impact forces of KV > 27 J on longitudinal samples at -50 °C;
- steels for nuclear reactors with Cu = 0,10 %, Co = 0,05 %, V = 0,05 % for a finished product analysis;
- steels with prescribed minimum electrical conductivity of > 9 S m/mm²;
- ferritic-pearlitic steels with a prescribed minimum content of C = 0,25 % which, as for non-alloy steels and for the purpose of hardening, still contain permissible contents of one or more micro-alloying elements, e.g. V, Nb;
- steels for prestressed concrete reinforcement.

4.3. Alloyed steels

4.3.1. Alloyed quality steels

This group involves steels intended for similar purposes to unalloyed quality steels, but in order to meet special conditions of their use, they contain alloying elements in certain contents that make them alloyed steels. These steels are generally not intended for refining or surface hardening and encompass:

- weldable fine-grained structural steels for steel structures, including pressure vessels and pipelines that meet the following requirements:
 - for t = 16 mm, the yield strength of Re < 380 MPa is prescribed,
 - contents of alloying elements must be below limit values given in the table of limit contents for the division of alloyed weldable fine-grained structural steels into alloyed quality steels and stainless steels,
 - a minimum impact value of KV proportion is at -50 °C = 27 J,

- steels alloyed only with Si or Si and Al with special requirements for magnetic and electrical properties;
- steels intended for manufacturing of rails, brushes and mine supports;
- steels for hot-rolled or cold-rolled flat products which are intended for more advanced cold forming and which are alloyed individually or in combinations with B, Nb, Ti, V or Zr (similar to biphasic steels);
- steels alloyed only with Cu.

4.3.2. Alloyed stainless steels

They are steels where the required properties – often in combinations and within restricted limits – are achieved by determining precise chemical compositions as well as special production and testing conditions. They particularly include stainless steels, high-temperature resistant and refractory steels, steels for roller bearings, tool steels, steels for steel structures and machine construction, steels with special physical properties, etc., [71].

4.4. Abbreviations for steel marking system

Table 4.4 shows a specific steel markings system.

Tab. 4.4 Steel marking system scheme according to EN 10027-1, EN 10 027-2 and IC-10 [71]

Marking of steel standards						
Basic symbols (EN 10027-1)				Additional symbols IC-10		
Letter	Properties		Steels		+	Steel products
	Carbon content	Alloying elements	Group 1	Group 2		
Markings according to EN 10 027-1, Numerical markings according to EN 10 027-2						

Group 1 – Markings developed on the basis of their use and mechanical and physical properties of steels

Group 2 – Markings developed on the basis of chemical compositions of steels

- A – Examples of symbols for special requirements
- B – Examples of symbols for coating types
- C – Examples of symbols for processing statuses

5. Numeric Symbols of Steel

For all steels included in the European standards, the number is assigned in accordance with the system in EN 10027-2. These numbers are additional to steel marking according to EN 10027-1. The authority competent to allocate numbers is the European Registration Office in Düsseldorf. A request for allocating a number to steel manufactured according to the national standards must be submitted via a competent authority. For the procedure of creating numerical symbols, see Table 5.1.

Table 5.1 Creating numerical marking [71]

X.	XX	XX(XX)
Number of the main material group 1 - steel 2 - 9 - can be assigned to other materials	Number of steel class - marked in accordance with the table of numbers of steel	Serial number. Currently, serial number consists of two digits, the remaining digits (in brackets) is intended for future use

5.1. Marking of steel in some EU countries

Although the EU member countries are gradually starting to use a uniform system of steel marking in accordance with the European standards, it is still possible to encounter steel marked in accordance with the standards of other countries. Steel is marked in all countries that produce it, according to technical standards and also by the individual producers. The following part deals with the marking system in accordance with the technical standards in Germany, France, Great Britain, Italy, Spain and Belgium. There are also previously used symbols which are still possible to encounter in technical documentation.

Individual kinds of steel are marked by symbols consisting of letters, digits, or letters and digits. Various criteria are chosen to create a marking system. The most common is chemical composition. In some other systems it is e.g. tensile strength, and sometimes only a serial number with a symbol of steel used according to the purpose of its use, etc. The letters used in the marking of alloyed steel mean usually mainly alloying elements. As it results from Table 5.3, there used to be used different letter for individual elements in different countries. This has currently been unified in the EU countries.

Table 5.3 Marking of steel in selected EU countries [71]

Element	Symbol	Germany	France	Italy	Spain
Aluminium	Al	Al	A	A	Al
Boron	B	B	B	-	B

Carbon	C	-	-	-	-
cobalt	Co	Co	K	K	Co
Chromium	Cr	Cr	C	C	Cr
Copper	Cu	Cu	U	-	Cu
Manganese	Mn	Mn	M	M	Mn
Molybdenum	Mo	Mo	D	D	Mo
Nitrogen	N	N	Az	Az	N
Niobium	Nb	Nb	Nb	-	Nb
Nickel	Ni	Ni	N	N	Ni
Phosphorus	P	P	P	-	P
Lead	Pb	Pb	-	-	Pb
Silicon	Si	Si	S	S	Si
Titanium	Ti	Ti	T	T	Ti
Vanadium	V	V	V	-	V
Tungsten	W	W	W	-	W
Zirconium	Zr	Zr	Zr	-	Zr

Note: In the case of French and Italian steels, the symbols in the table were used until the mid-eighties. Currently, the symbols used correspond to the German ones.

5.2. Steel marking in accordance with German standard DIN

In Germany, steels are marked in two ways:

- By numerical symbol – this determines the number of the material (Werkstoffnummer),
- By combination of numbers and letters.

For the latter method, steels are divided into several groups (see Table 5.4).

Tab. 5.4 Classification of steels [71]

Non-alloyed (carbon) steel		Alloyed steels	
Non-heat treated, except for normal annealing	Intended for heat processing	Low alloy steels – content of alloying elements up to 5 %	Super alloy steels – content of alloying elements over 5 %
Common steel (including low alloy steels)	Quality steel	Stainless steel	

Marking non-alloyed carbon steels

- symbol – capital letter designating the method of casting
 - U – rimmed steel
 - R – killed or semi-killed steel
 - RR – fully killed steel
- symbol – letters St
- symbol – a two-digit number indicating the lowest tensile strength in kp/mm²
- symbol – number of group of grade; steels are divided into groups according to the P or S (or C) content,
 - the quality group number is separated from the number giving the lowest strength by a horizontal line. The four symbols make the basic marking of the steel. This could be completed by additional symbols:

In front of the 1st symbol

- E – steel manufactured in electric furnace
- M – steel manufactured in open hearth furnace
- Y – steel manufactured in converter

Between the 1st and the 2nd symbol

- Q – suitable for cutting
- Z – suitable for drawing of bars
- P – suitable for die forging or forging using forging machines
- Ro – intended for the production of pipes (after the last symbol)
- U – delivered after rolling
- N – delivered in normally annealed condition.

Marking of non-alloyed quality steels

Marking of these steels indicates the mean carbon content.

- 1st symbol – letter C
- 2nd symbol – number indicating 100 times greater content of carbon.

Marking of non-alloyed stainless steels

- 1st symbol – letters Ck
- 2nd symbol – number indicating 100 times greater mean content of carbon.

Marking of low-alloy stainless steels

- 1st symbol – number indicating a 100times higher mean content of carbon

- 2nd symbol – chemical symbols of alloying elements arranged in successive order according to their mean content in steel. Only the elements important for marking steel or for distinguishing between the individual types of steels are given.
- 3rd symbol – mean content of alloying elements expressed by a multiple of the actual mean content in accordance with Table 5.5.

Table 5.5 Content of alloying elements expressed by a multiple of the actual mean content [71]

Alloying elements	Coefficient
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Cu, Mo, Ti, V	10
P, S, N	100

Marking of super alloy steels

For these steels, the actual content of the main alloying elements is alleged. Unlike the low alloy steels, the first symbol is letter X.

- 1st symbol – letter X
- 2nd symbol – number indicating a 100times greater mean content of carbon.
- 3rd symbol – chemical symbols of important alloying elements.
- 4th symbol – number indicating the approximate mean content of the main alloying elements.

World steel producers

In recent years, China has produced 567.8 million tons of steel, thus producing nearly half of the world's production. The second largest producer is Japan followed by Russia, has surpassed the United States. The production of steel in North America fell by nearly 34 % (23 % in Europe). For more details, see Table 5.8 and Figure 5.12. [60]

The steel industry is beginning to recover from the crisis with a gradual recovery of the world's economy. Steel production increased year-on-year by 30 % (to 106.4 million tons). However, compared to the 117 million tons of steel produced in the last period, the production has decreased according to Reuters. According to Accenture analyst, John Lichtenstein, world production and demand for steel should rise again by approx. 10 %, and the production will thus increase to the level from the years 2008 – 2010. [71]

Members of WorldAutoSteel:

- Arcelor Mittal – Luxembourg
- Baoshan Iron & Steel Co. Ltd. – China
- China Steel Corporation – China
- Hyundai-Steel Company – South Korea
- JFE Steel Corporation – Japan
- Kobe Steel, Ltd. – Japan
- Nippon Steel Corporation – Japan
- Nucor Corporation – USA
- POSCO – South Korea
- SeverStal – Russia/USA
- Sumitomo Metal Industries, Ltd. – Japan
- Tata Steel & Corus – India, UK, Netherlands
- ThyssenKrupp Stahl AG – Germany
- USIMINAS – Brasil
- United States Steel Corporation – USA
- Voestalpine Stahl GmbH – Austria

Tab. 5.8 80 largest world steel producers in 2008, mmt – production in million tons [60]

2008		2007		2008		2007			
Rank	mnt	Rank	mnt	Company	Rank	mnt	Rank	mnt	Company
1	103.3	1	116.4	ArcelorMittal	41	6.9	40	7.4	Jiuquan Steel
2	37.5	2	35.7	Nippon Steel ¹	42	6.9	41	7.3	Salzgitter ⁵
3	35.4	5	28.6	Baosteel Group	43	6.8	43	6.9	voestalpine
4	34.7	4	31.1	POSCO	44	6.5	39	7.8	Jianlong Group
5	33.3	NA	31.1	Hebei Steel Group	45	6.5	44	6.8	BlueScope
6	33.0	3	34.0	JFE	46	6.4	46	6.4	Metallinvest
7	27.7	11	20.2	Wuhan Steel Group	47	6.4	47	6.4	Beitei Steel
8	24.4	6	26.5	Tata Steel ²	48	6.1	60	5.2	Guofeng Steel
9	23.3	8	22.9	Jiangsu Shagang Group	49	6.1	51	6.1	SSAB
10	23.2	10	21.5	U.S. Steel	50	6.0	56	5.4	Erdemir
11	21.8	8	23.8	Shandong Steel Group	51	5.9	54	5.9	AK Steel
12	20.4	12	20.0	Nucor	52	5.9	52	6.1	Mechel
13	20.4	13	18.6	Gerdau	53	5.7	53	6.0	Nanjing Steel
14	19.2	15	17.3	Severstal	54	5.6	42	7.0	Ilyich
15	17.7	17	16.2	Evrz	55	5.4	61	5.0	Tonghua Steel
16	16.9	14	17.9	Riva	56	5.3	56	5.6	Xinyu Steel
17	16.0	NA	16.2	Anshan Steel	57	5.2	57	5.5	HKM ⁶
18	15.9	16	17.0	ThyssenKrupp ³	58	5.1	NA	4.5	Sanming Steel
19	15.0	18	14.2	Maanshan Steel	59	5.0	59	5.3	CSN
20	14.1	20	13.8	Sumitomo Metal Ind	60	4.7	63	4.6	HADEED
21	13.7	19	13.9	SAIL	61	4.5	68	4.4	Tianjin Tiantie Group
22	12.2	23	12.9	Shougang Group	62	4.4	72	4.0	Hebei Jinxi Group
23	12.0	21	13.3	Magnitogorsk	63	4.3	62	5.0	Steel Dynamics
24	11.3	30	9.7	Novolipetsk	64	4.3	69	4.1	Pingxiang Steel
25	11.3	26	11.1	Hunan Valin Group	65	4.3	65	4.5	Ezz Group
26	11.0	27	10.9	China Steel Corporation	66	4.0	71	4.1	Nisshin
27	10.4	22	13.1	Techint ⁴	67	4.0	70	4.1	Tianjin Steel
28	10.0	28	10.1	IMDRO	68	3.9	64	4.6	Zaporizhstahl
29	9.9	NA	11.6	Industrial Union of Donbass	69	3.8	NA	3.0	JSW Steel
30	9.9	29	10.0	Hyundai Steel	70	3.7	73	4.0	Lion Group
31	9.8	34	8.8	Baotou Steel	71	3.7	75	3.5	AHMSA
32	9.2	31	9.3	Taiyuan Steel	72	3.7	NA	3.0	ICDAS
33	9.0	33	9.0	Anyang Steel	73	3.6	NA	4.3	SIDOR ⁶
34	8.2	32	9.1	Metinvest	74	3.6	78	3.5	Hangzhou Steel
35	8.2	37	8.1	Celsa	75	3.5	NA	2.7	Hebei Jingye Steel
36	8.1	38	8.1	Kobe Steel	76	3.5	77	3.5	Chongqing Steel
37	8.0	35	8.7	Usiminas	77	3.4	NA	2.7	Commercial Metals
38	7.5	45	6.6	Panzhuhua Steel	78	3.4	74	3.6	Essar Steel
39	7.5	50	6.2	Rizhao Steel	79	3.4	79	3.5	Tokyo Steel
40	7.4	NA	7.6	Benxi Steel	80	3.1	NA	3.2	Vizag Steel

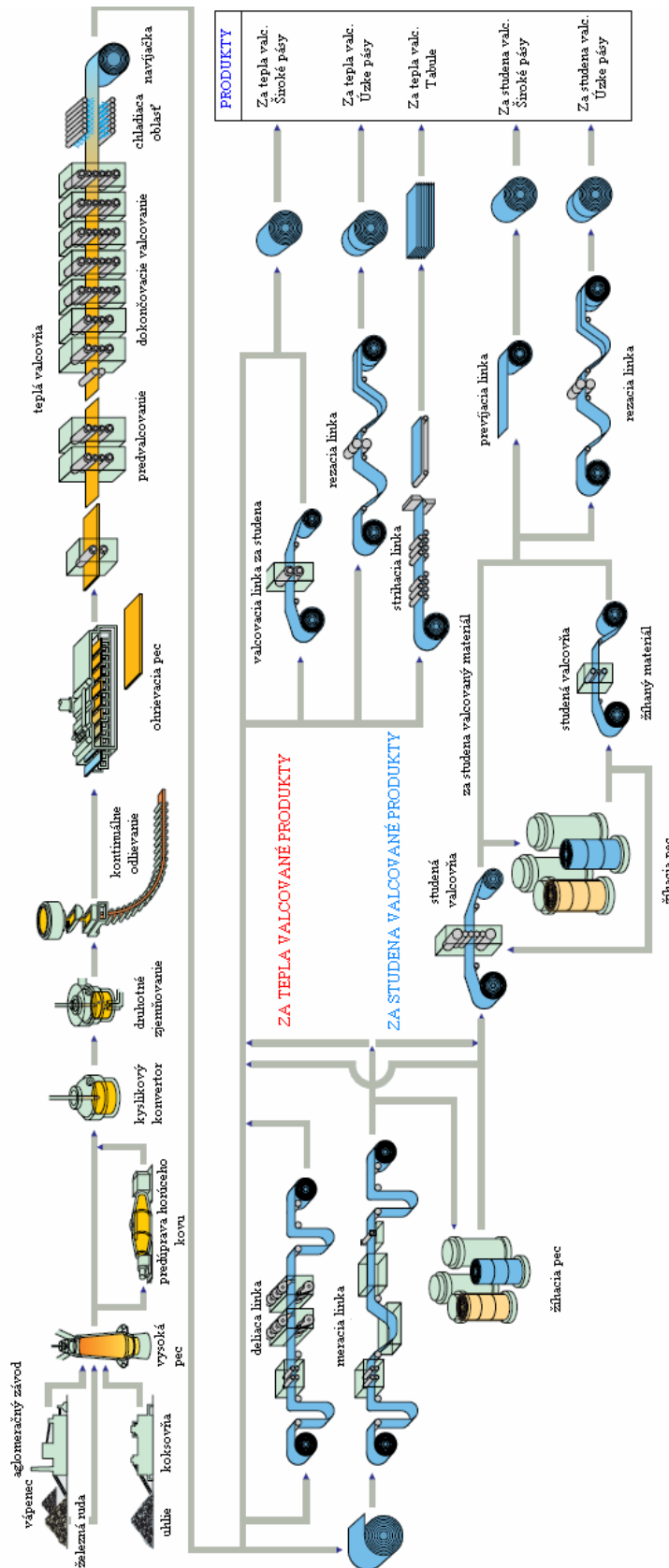


Figure 5.12 Production processes of steel sheets [71]

6. Evaluation of Material Surface

The surface of industrial parts and components or workpieces can be described as a physical borderline between a workpiece and the environment. The actual surface of the workpiece is defined by international standards (ISO) as a set of characteristic properties that physically exist and distinguish the workpiece from the surrounding environment. It shouldn't be assumed that the workpiece surface has a purely mechanical character. In fact, the surface has also electromagnetic character. [92]

There are more definitions in accordance with the ISO:

- **The real mechanical surface** is a limit area determined by the ball contact with the radius r ; the geometric location of the centres of the ideal ball contact, also with the radius r , rolling off the real surface of the workpiece.
- **The real electromagnetic surface** is a geometric location of effective reflection of the points of the real workpiece surface, electromagnetic radiation of the specified wavelength.

The ISO 4287 standard is currently the main valid international standard which specifies the terms, definition and parameters related to surface. These parameters correspond to various parts of a signal that is generated by the touch.

Parameters are marked by different letters:

P – primary profile,
R – roughness profile,
W – Waviness profile.

6.1. Material surface evaluation – main parameters

Height of profile $Z(x)$ – is the value of the coordinate $Z(x)$ at any location x . [92]

Local slope dZ/dX – it is a slope of the profile at the point x , Figure 6.1.

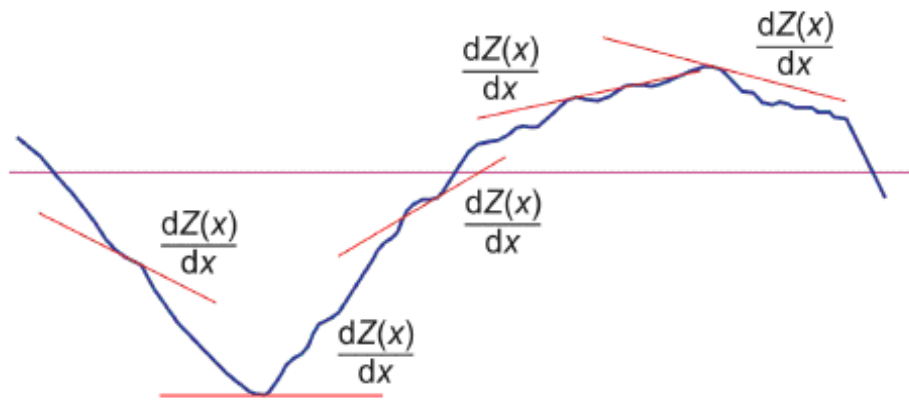


Figure 6.17 Local slope [92]

Profile peak – it is a part of the profile connecting its adjacent intersegments with the middle line of the profile outwards the material.

Profile valley – it is a part of the profile connecting its two adjacent intersegments with the middle line of the profile inwards the material.

Profile element – it is a peak of the profile and the connected profile valley, Figure 6.2.

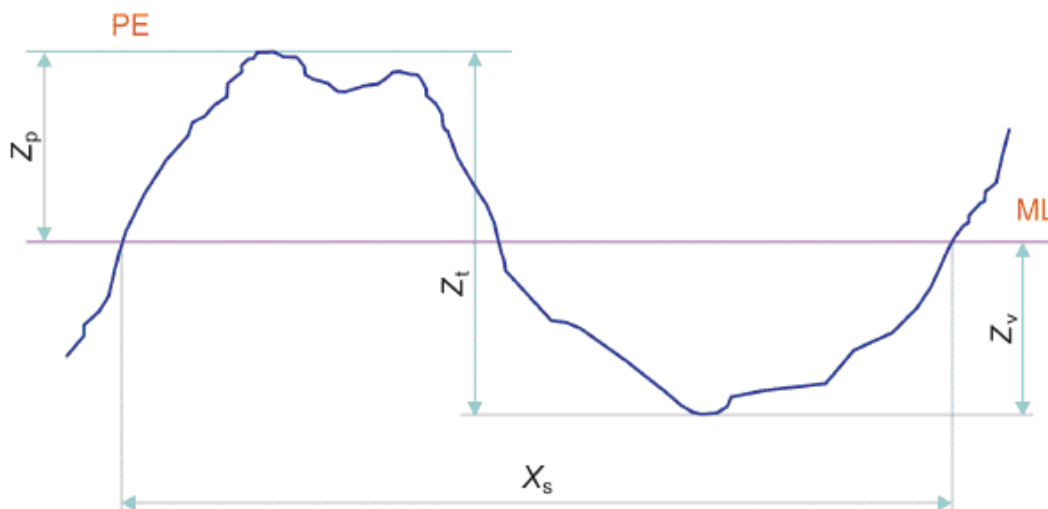


Figure 6.18 Profile element [92]

PE – profile element, ML – middle line

Height of the profile peak Z_p – is a distance between the middle line of the profile and the highest point of the profile, Figure 6.2.

The depth of the profile valley Z_v – is a distance between the middle line of the profile and the lowest point of the profile valley, Figure 6.2.

Height of the profile element Z_t – it is the sum of the peak height and valley depth, Figure 6.2.

Profile element spacing X_s – it is the length of the segment of the profile middle line containing the profile element, Figure 6.2.

Material length of the profile, level c $MI(c)$ – it is the sum of the lengths of the segments created by a cut parallel with the middle line of the profile at the level c by separating the profile peaks in the sampling length, Figure 6.3, [92].

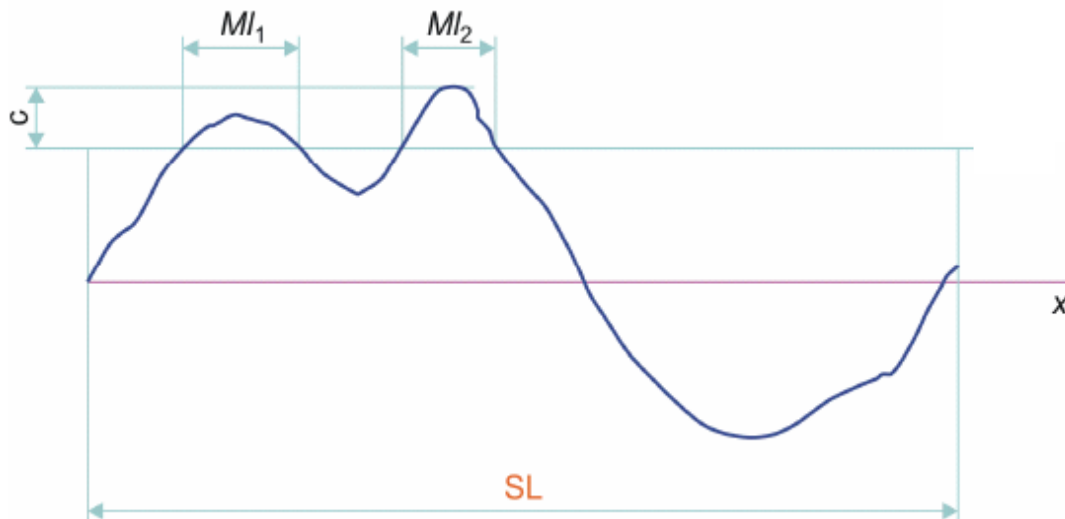


Figure 6.19 Material length [92]

$$MI(c) = MI_1 + MI_2, SL - \text{sampling length}$$

The peak of the highest profile peak P_p , R_p , W_p – it is the highest height of the profile peak Z_p in the sampling length, Figure 6.4. [92]

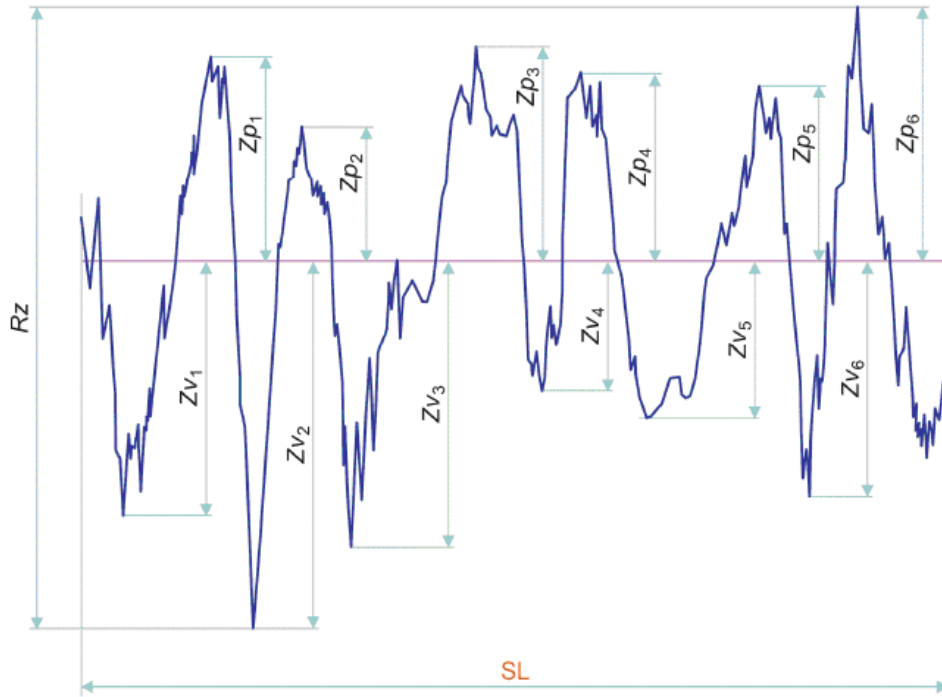


Figure 6.20 Sampling length (example of roughness profile) [92]

The depth of the deepest valley in the profiles Pv, Rv, Wv – the deepest valley of the profile Zv in the sampling length.

The highest profile Pz, Rz, Wz – it is the sum of the peak of the peak Zp and the deepest valley of the profile Zv in the sampling length.

Medium height of the profile element Pc, Rc, Wc – it is the medium value of the heights of the profile elements Zt in the sampling length.

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Zt_i \quad (6.1)$$

The total height of the profile Pt, Rt, Wt – it is the sum of the height of the highest profile peak Zp and the depth of the profile valley Zv in the evaluated length. [92].

The medium arithmetic deviation of the profile Pa, Ra, Wa – it is the medium arithmetic value of the absolute profile deviations Z(x) in the sampling length.

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (6.2)$$

6.2. Parameters for evaluation of 3D surface roughness

Amplitude parameters used in 3D evaluation derived from 2D parameters according to ISO 4287:

- S_a – average arithmetic deviation of surface
- S_q – mean square deviation of surface
- S_t – total height of profile
- S_p – maximum peak height
- S_v – maximum valley depth
- S_z – ten point surface height
- S_{sk} – skewness of height distribution curve
- S_{ku} – sharpness of the surface heights

Area and volume parameters:

- S_{mr} – ration in a given depth (areal material ration) – it is given with a limit value and reference data.
- S_{dc} – height difference of the surface cuts – determined by two limit values (in %). [9]
- S_{mvr} – the mean value of the empty space radius – the volume of the surface material obtained by measuring the space between the imaginary horizontal plane folded at the largest depth of the surface profile and the surface points.
- S_{mmr} – mean value of the material volume portion – the total volume of the material surface obtained by measuring the space between the imaginary horizontal plane folded at the largest depth of the surface profile and the surface points, [12], [92].

Spatial parameters:

- SP_c – number of peaks on the surface – density of peaks between two levels c_1 and c_2 , where c_1 and c_2 are limit planes defined in relation to the median plane 0. c_1 must be lower than c_2 . The peak is taken into account only if it exceeds c_2 and passed under c_1 . The parameter is expressed by the number of peaks per mm^2 . [9]
- S_{ds} – summit density – number of summits per mm. summits are derived from peaks. A peak is a summit that is higher than 8 nearest points.
- S_{al} – auto-correlation length – length corresponding to the fastest decrease in autocorrelation function. It expresses the number of wavelengths of the surface profile. High values indicate high wavelengths.
- S_{tr} – texture aspect ratio – ratio of the shortest drop to the largest length. It ranges from 0 to 1. If the value approaches to 1, the surface is isotropic, if it is close

to 0, the surface is anisotropic.

- S_{td} – texture direction – it determined the main angular direction of the surface texture. It is meaningful if the value is lower than 0.5. The angular direction is expressed in degrees between -90° and 90° .
- S_{fd} – fractal dimension of surface – it indicates the shape complexity of the surface profile using the theory of fractal geometry. The surface dimension varies between two values for a planar surface and three values for a complex shape of a plane. For some surface shapes, fractal dimension cannot be determined, [92].

Hybrid parameters – combine both amplitude and spatial parameters:

- S_{dq} – quadratic slope of the surface
- S_{sc} – arithmetic mean of the summits curvature
- S_{dr} – developed interfacial area ratio

Functional parameters – characterize functional aspects of the surface:

- S_k – core roughness depth – extended 2D parameter R_k
- S_{pk} – reduced peak height – extended 2D parameter R_{pk}
- S_{vk} – reduced valley depth – extended 2D parameter R_{vk}
- S_{r1} – upper material ratio
- S_{r2} – lower material ratio
- S_{a1} – upper area (of a triangle, corresponding to peaks)
- S_{s2} – lower area (of a triangle, corresponding to valleys)

Parameters R_k

- S_{bi} – surface bearing index
- S_{ci} – core fluid retention index
- S_{vi} – valley fluid retention index

Parameters SURFSTAND

- $V_m(h)$ – material volume at a given depth
- $V_v(h)$ – void volume at a given depth
- V_{mp} – peak material volume
- V_{mc} – volume of the material of the core
- V_{vc} – core void volume
- V_{vv} – valley void volume

Flatness parameters for the surface smoothed using the least squares method and filtered by low pass filter:

- FLT_t – peak to valley flatness deviation
- FLT_p – peak to reference flatness deviation

- FLTv – reference to valley flatness deviation
- FLTq – root mean square flatness deviation [12], [92].

Comparison of 2D and 3D

Currently, 2D and 3D methods of surface evaluation have been developed and upgraded. In terms of 2D evaluation, parameters Ra and Rz are still being widely used because of easy measuring of the mean roughness values, international standards or due to their clarity and the fact that the metrology has been based on these parameters from the very beginning. In terms of measuring roughness, parameters Ra, Rz are still very important, but practically impossible to use in evaluating functional properties.

The reason is that different surfaces can have the same roughness value but the prerequisites for performing the function are different, e.g. upper profile (Figure 6.16) can better perform the sliding bearing function than the lower profile. [10]

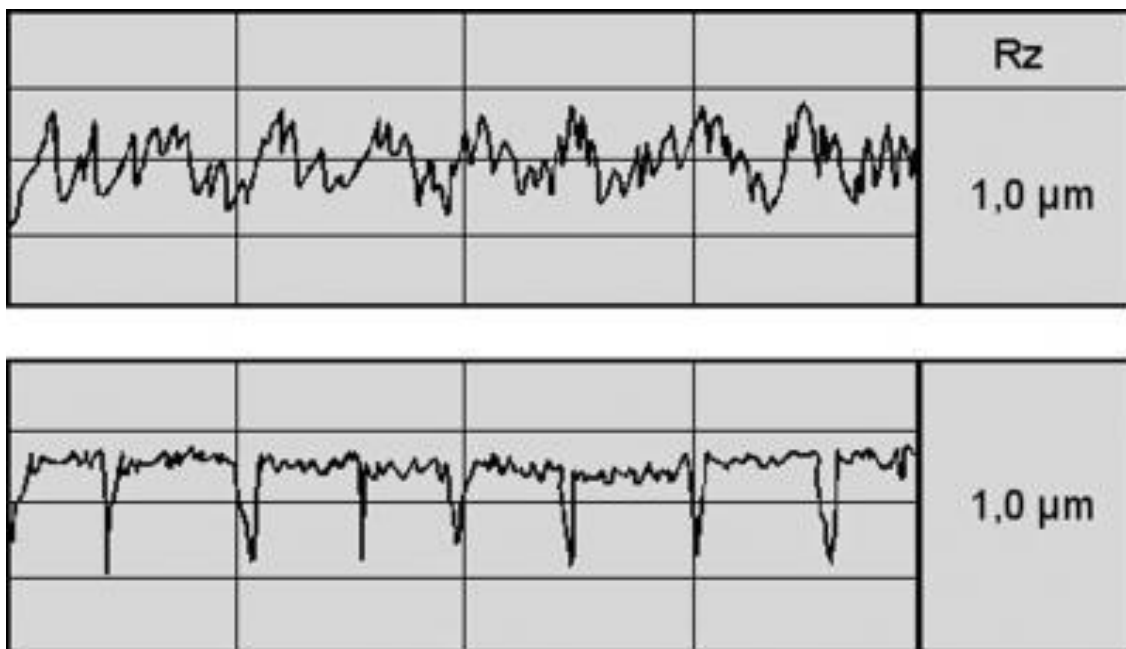


Figure 6.21 Measuring with contact profilometer – Rz values with different functions [7]

2D parameters cannot provide information about the wear rate of the individual surface textures, about the ability to retain lubricant or about the proneness to cracking caused by machining. For a full application, some parameters need other information than only numerical value, as e.g. the direction of the machining marks is. The parameter describing this direction is more a vector than a scalar. For two surfaces with peaks of the same height, out of which one surface peaks point to the right and second to the left, the parameters Ra, Rq will be the same. However, the direction of the relative movement will be different due to the edges loaded. If such surfaces are mounted in a wrong direction, it could cause malfunction. It is important of pay attention not only to one surface but the whole system, which consists of several surfaces. Evaluation of the surface function

thus cannot be separated from the whole system. [10]

The main disadvantage of the 2D evaluation is the fact that the results are limited and dependent on the position of the controlled section. Measuring often shows a location with more pronounced height surface deviations. However, it is not possible to evaluate the character and the extent of bigger deviations, which represent defects or surface damage, based on one profile only. 3D measuring provides much more data, which increases the objectivity of the surface evaluation. Axonometric evaluation enables to specify the extent of the more pronounced deviations.

In practice, when analysing a larger surface defect, it is recommendable to combine a 2D and 3D evaluation. In the case of a 3D analysis of a deep cracking, whose depth cannot be measured precisely, it is recommendable to record one section profile, which enables to evaluate the cracking dimensions and record in detail its shape, which enables to obtain more detailed information for identifying the cracking effect on the surface function Figure 6.17.

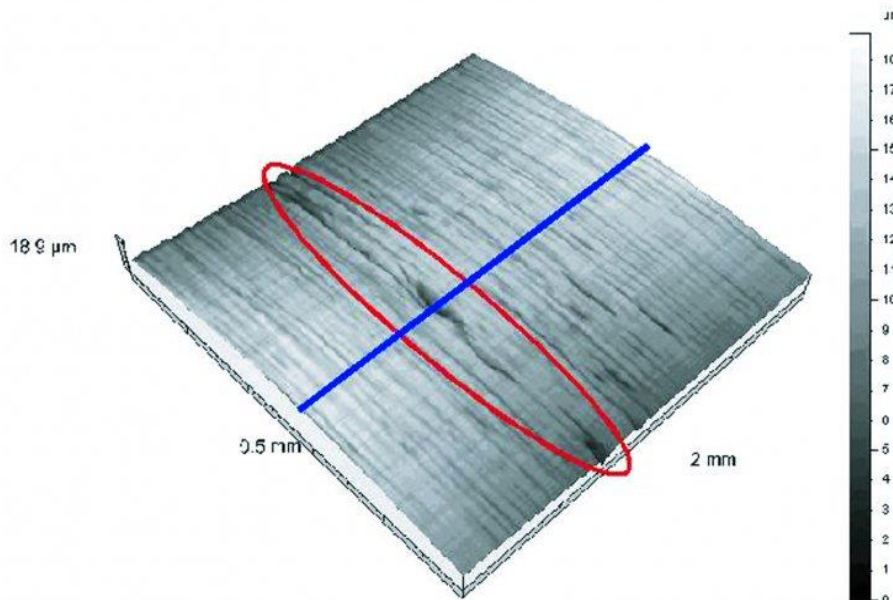


Figure 6.22 3D viewing of surface with cracking with marked subsequent 2D section [10]

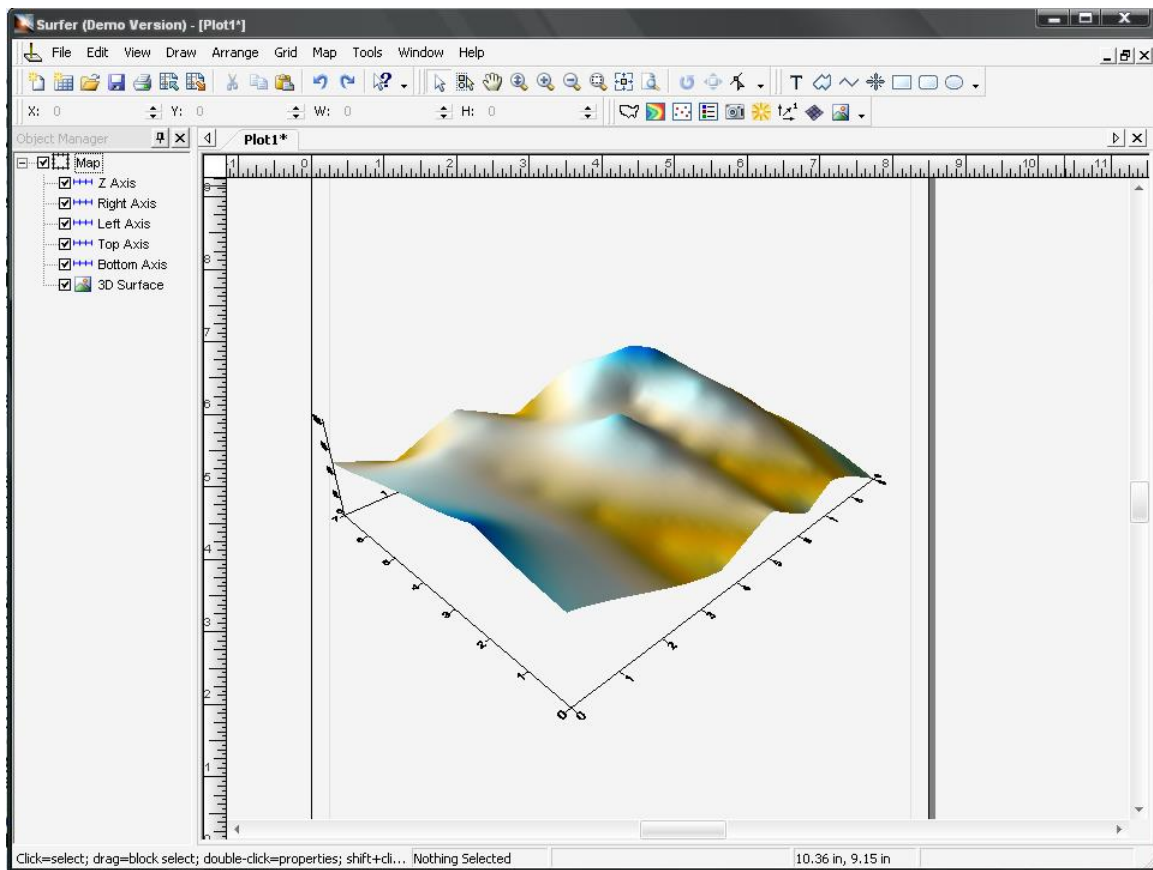


Figure 6.23 Example of 3D view of surface in programme Surfer 9 [92]

7. Measurement equipment and programmes

In developing new products, producers of measurement equipment put great emphasis on processing of the data measured. Measurement equipment is thus delivered with modern special computer programmes. These programmes are often compatible only with a concrete measurement device and vice versa. Such solutions are characteristic for the systems in which the software not only evaluates the data measured, but performs also control and monitoring functions.

7.1. Optosurf QS 500

Optosurf QS 500 (see Figure 6.18) uses light scattering methods. The principle of this method consists in lightning the surface with a light spot of a 0.9-mm radius. Reflected scattered light is sensed by a sensor. Scattering is statistically evaluated and by calculation, the optical parameter of roughness S_0 is obtained that roughly corresponds to the parameter of the. Measurement does not depend on the surface reflection, which means that dark surfaces have the same roughness value as light surfaces. It is possible



to measure all functional components surfaces. The sensor is able to measure reliably even in unfavourable operational conditions and is also able to handle vibrations.

Figure 6.18 Measuring using sensor QS 500 [7]

This measurement is used as an additional measurement to conventional contact measurement methods, but its measurement speed is much higher – over 1000 measurements per second. However, measurement speed is not the main parameter that sets the light scattering method before the contact methods. In practice, it is often necessary to know the direction of the marks after machining or to recognize the machining

method. An example can be e.g. grinding and finishing of crankshafts in engines manufacturing. The result of grinding is the structure of engravings with profile tips. During finishing, the tips are partly removed, which significantly improves the functional properties, reduces friction and wear. The light scattering method enables to distinguish grinded surfaces from finished, while in the case of contact methods there is an overlap in which these surfaces cannot be distinguished from each other. [7]

7.2. Software SW 500

Sensor QS 500 is used with the software SW 500 (Figure 6.19), which is intended for collecting the data measured, it operates the sensor and stores the data in SQL database.

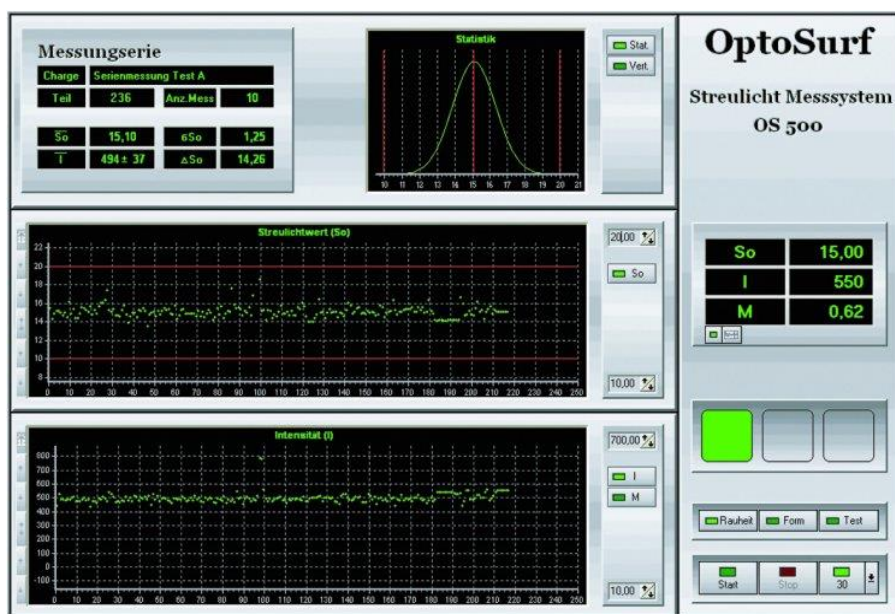


Figure 6.19 SQL database for storing results of measurement [7]

Establishing limit values enables fully automated production, where the components exceeding the limit values are automatically discarded. Simple statistical functions calculate mean deviation, standard deviation, and maximal deviation based on the values measured. Also the statistics of all tools used in production is kept, thus enabling to document the production process. The scattered light sensor controls the production process and provides continuous information on the machine status.

This enables detection of problems, such as cooling failure, bearing damage, wear of the production tool, etc.

7.3. Taylor Hobson Talysurf CLI

Measuring system designed for fast spatial measuring and evaluation of the surface

with high resolution. It enables to measure in three axes by contact and contactless method and subsequent analysis of the data from one profile section and surface area section. In the case of the contact method, an inductive touch sensor is used, while in the case of contactless method it is a laser triangular probe and CLA confocal sensor. These methods provide almost unlimited possibilities in measuring the surface structure in terms of quality, accuracy and type of material. The device is equipped with automatic feed in all axes with the speed not exceeding 30 mm/s. In the case of contact induction measuring tool it is 3 mm / s. For measuring, it is possible to use four different measuring heads. Although this device is specially designed for 3D measuring, it contains also mechanical and analytical tools for a complex 2D measurement. This enables to use one device for monitoring research and development, conduct study analyses, routine inspections or manage production processes, (Figure 6.20). [9]

Figure 6.20 Talysurf CLI 2000 [92]



7.4. Talymap

Talymap is designed to process spatial characteristics from the data obtained by contact and contactless measuring. It enables to view the monitored surface in more ways, e.g. in axonometric projection with an optional angle, colour resolution, and adjustable increase of a part or the whole surface. It is possible to measure in three axes, display profile inversion or simulation of surface wear. One of the greatest advantages of this programme is its versatility in terms of processing the data obtained from different measurement equipment (Figure 6.21).

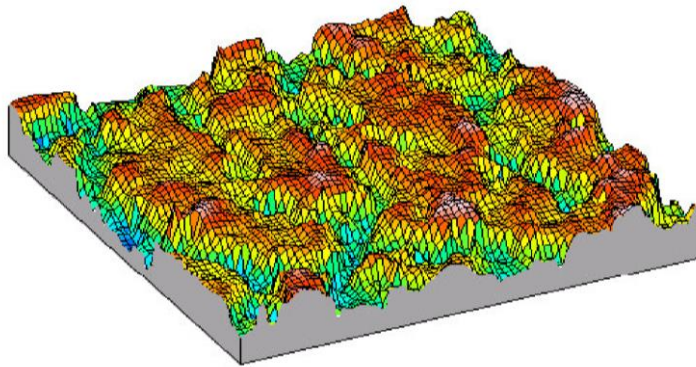


Figure 6.21 Surface in programme Talymap [92]

For spatial evaluation of surface, amplitude parameters, parameters describing the material surface, parameters related to unevenness, and volume parameters. In total, it is possible to use 120 parameters in 2D view and 40 parameters in 3D view. In 3D profile it is possible to choose one profile that can be evaluated by 2D functions.

There are also a number of progressive specialized modules that are intended for evaluating surface parameters and properties important for a specific function, such as wear, damage, surface erosion.

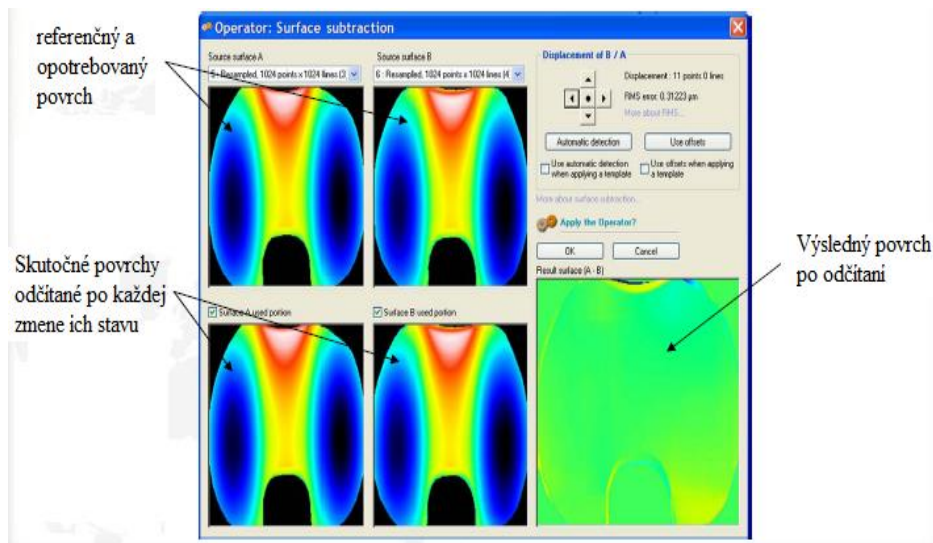
7.5. Module Textured Surfaces

This module is intended for 3D evaluation of a complex material surface. It calculates areas and volumes, maximal and minimal peak heights and valley depths in relation to height limit established by user. The data are important in terms of determining the ability of the surface to retain lubrication or for predicting the durability of functional surface in wear. [9]

For graphical representation of the results, the function "Coloured Binary Image" is used, which uses 256 colours to create a height scale or 2 colour for dividing a surface into the areas above and below the selected height limit.

7.6. Talymap Wear

It is used for 3D analysis of surface wear. It allows 3D data filtering before the analysis using Gaussian method, spline method, three-point method or the least squares method. Filtration consists in removing short wavelengths, which improves stability and repeatability. Surface wear is evaluated by means of comparing the surface before wear



and after wear (Figure 6.22).

Figure 6.22 Analysis of surface wear using Talymap Wear [92]

Legend: referenčný a opotrebovaný povrch – reference and worn out surface, skutočné povrchy odčítané po každej zmene ich stavu – actual surfaces removed after each change of their state, výsledný povrch po odčítaní – final surface

7.7. Step Height Analysis programme

It is used to determine and evaluate the vertical dimensions, e.g. thickness of thin coatings, elevation or shallow depth. This analysis is important in the application or removal of material using mechanical, chemical or other methods. The programme can calculate the average height of a selected area or the difference between heights of more areas. When selecting two points of a surface, it determines their horizontal distance, mutual elevation and slope. For the calculation, several methods can be used, including interactive manual method.

7.8. Twist programme

It is a programme for analysis of spatial surface texture used for evaluation of roughness and roundness. After obtaining a sufficient amount of data, a spatial surface map is created. The texture analysis itself is divided into filtration and determining the parameters. By analysing the dominant wavelength, filter type and the size of the limiting wavelength is determined. If no dominant wavelength is found, Gaussian filter is used and the users choose their own limiting wavelength. After evaluating the dominant wavelength, the data are processed by ZBP (Zero Band-Pass) filter. The value of the limiting wavelength is equal to the dominant wavelength (Figure 6.23). [92]

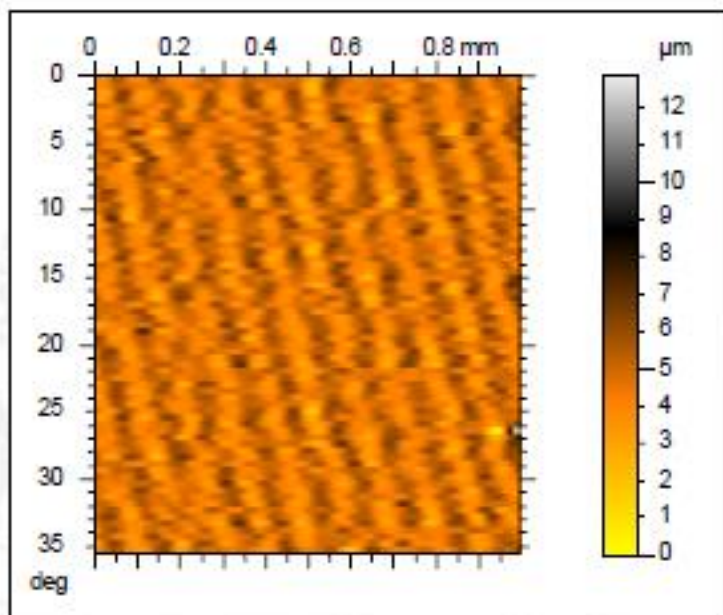


Figure 6.23 Example of filtered surface [92]

The surface profile data are then processed by Fourier transform, which evaluates the following basic parameters: wavelength of the surface tracks in the axial direction, the frequency and direction of the tracks in the circumferential direction, the average amplitude. Other parameters are derived from the basic parameters: the average value of the cross-section, gradient, and angle. The analysed surface can be viewed in axonometry (Figure 6.24).



Figure 6.24 Axonometric continuous image of machined surface [92]

7.9. Mitutoyo Surftest SJ-400

In this case, it is a manual tool designed for measuring roughness, waviness, and primary profile. It has its own display for displaying the selected parameters. It also enables automatic calibration, adjustment of the inclination, upside down measurement, setting the measurement conditions. It contains integrated statistical functions for evaluation, but there is also a possibility of a connection to Surfpak-SJ (evaluation software – Figure



6.25).

Figure 6.25 Surftest SJ-400 [92]

7.10. Software Surfpak SJ/SV/PRO

Surftest is supplied with the software Surfpak SJ/SV/PRO, which ensures controlling of the device, evaluation of the values measured and processing of the documentation. This programme is able to process a large number of roughness parameters included in the standards DIN, ISO, JIS, Motif, etc. It enables various types of graphical analyses, SD

topography, displaying a profile cross-section, etc. (Figure 6.26).

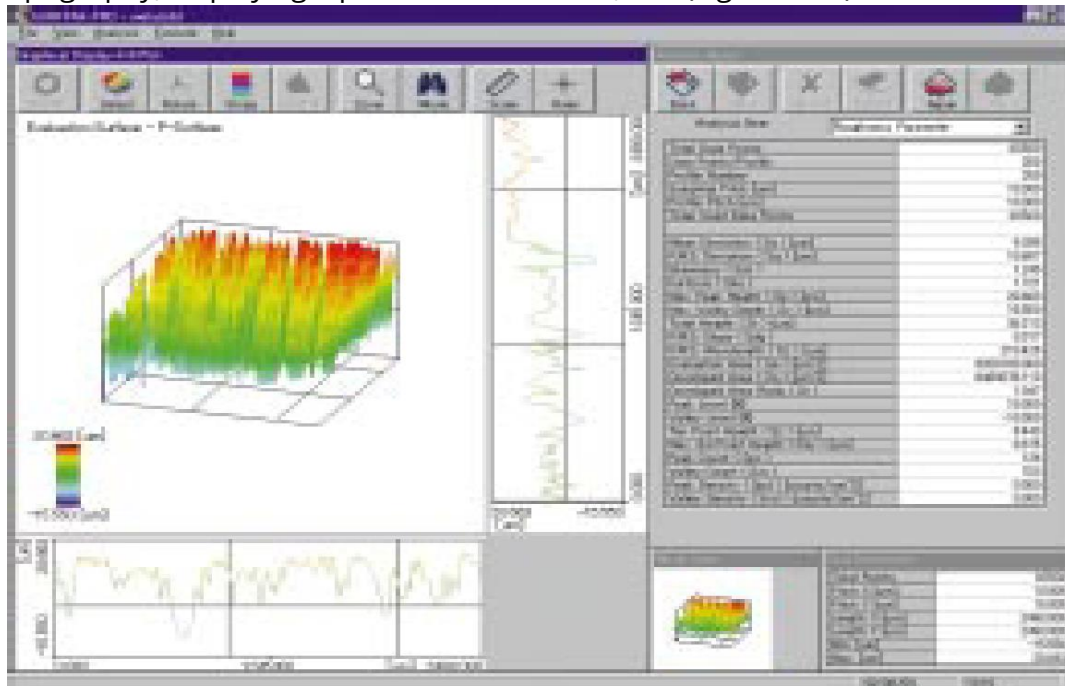


Figure 6.26 Example of evaluation of measurement by Surfpack-PRO [92]

7.11. Surfer 9 programme

Unlike the previous programmes, Surfer 9 is not connected to any measurement device nor it is primarily specially designed for evaluating the roughness or waviness parameters. It can transform XYZ data into outline maps, 3D surface maps, 3D wireframes, terrains, post maps, vector maps or basic maps. It is also able to calculate various sections, areas, or volumes. Input data can be imported from a large number of various types of sets, Figure 6.27.

8. Materials in Current Production of Automobiles I.

New trends in the development of automotive consist in the following principles: increasing the safety of the crew, reducing fuel consumption, increasing the comfort and convenience. In terms of developing the mid-size cars, the trend set by economic studies is to achieve the fuel consumption of 2.6 l/100 km in 2020. Meeting such contradictory requirements is only possible by reducing the car weight. While the weight of a mid-size car in 1960 was about 2400 kg, in 2000 it was about 1450 kg. This value shall be 870 kg by 2020, which is, compared to 2000, a 40% reduction.

The analysis of the current mid-size car weight showed the following proportional weight distribution of basic groups and equipment: bodywork – 26 %, chassis 23 %, engine 21 %, liquid media 5 %, electrical equipment 8 % and others 17 %.

The average weight of a European car in 2000 was 1100 kg with the following material composition: steel and cast iron (62 %), non-ferrous metals (Al, Mg) and their alloys (8 %), plastics (10 %), rubber (5 %), glass (3 %), textile and noise insulation (4 %), liquids and other materials (8 %).

It follows from the analyses that 62 % of the overall weight falls on steel, or cast iron, and 30 % of a passenger car production costs are material costs. As a result, the attention of automotive designers focuses mainly on the reduction of the most widely used material – steel, which is the basis of the structural parts (bodywork, chassis, engine, etc.). Chrysler has future intentions of reducing its cars weight: bodywork (-50 %), chassis (-50 %), engine (-10 %), fuel system (-55 %).

Metallurgy reacted to the challenges resulting from the economic studies as well as the requirements of automotive designers and manufactures by research and development of materials and technologies in two basic directions: developing materials and technologies for manufacturing lightweight aluminium / steel based (ultralehký) bodyworks. Given that regarding the necessary energy consumption needed for primary metallurgical production technologies, the global trend is in favour of research and development of steel materials, the following part will be focus on this trend.

The development of automotive, automation of production processes focuses on reducing the weight, increasing of safety and corrosion resistance of bodyworks while increasing the production efficiency and reduction of production costs. In terms of construction and utility properties of the resulting product, the objective is to reduce the thickness of sheet metal, which means to increase its strength and dynamic load bearing capacity. Currently, steel sheets and strips produced can be divided from different points of view:

- by the method of steel production:

- cast,
- continuous casting,
- vacuum casting,
- by the method of rolling:
 - hot rolling,
 - cold rolling,
- by surface protection:
 - non-surface treated,
 - surface treated,
- by use:
 - structural,
 - suitable for forming,
 - for packaging,
 - for engineering industry,
- by strength and plastic properties, chemical and structural composition:
 - textured low-carbon zinc-killed steels (LC, ULC, SULC),
 - interstitial free steels (IF steels),
 - bake hardenable steels (BH steels),
 - dual-phase steels (DP steels),
 - complex phase steels (CP steels),
 - high-strength low-alloy steels (HSLA),
 - transformation induced plasticity steels (TRIP steels),
 - martensitic steels (M steels) [71].

Structural steel materials for automotive are constantly developed. In the 1980s, classic high-strength cold-formed steels (ZStE) were supplemented with phosphor-alloyed steels ZStE-P and dual-phase steels (DP). In the mid-eighties, IF (interstitial free) steels and BH (bake hardening) steels were developed. Since the 1990s, also CP (complex phase) steels have been developed, as well as RA (residual austenite) steels with TRIP effect, SULC (super ultra-low carbon) steels and MS (martensitic) steels. [71], [82].

The requirements for steel sheets for automotive can be summarized in the following points:

- Strength and plastic properties
- Technological malleability
- Weldability
- Corrosion-resistant
- Suitable surface for surface treatment
- Low weight

8.1. Low carbon steel sheets and strips for cold drawing

Steel sheets are produced by both hot and cold rolling. In terms of the processed amount, the prevailing are cold-rolled steel sheets. They are available in the form of coils and sheets of a 0.20-2.00-mm thickness. According to the degree of suitability for forming, cold-rolled sheets are divided into five groups [76]:

- MT – common quality steel (CQ)
- ST – drawing quality steel (DQ)
- HT – drawing quality steel (DQ)
- VT – deep drawing quality steel (DDQ)
- ZT – extra deep drawing quality steel (EDDQ)

New classification of low carbon steel sheets for automotive SAE J2329 is shown in Table 1. The steel sheets in the Table are classified by the production method: hot rolled steel and cold rolled steel, together with the minimal required properties that represent yield strength and minimum value of the strain hardening exponent n .

Table 1 Classification of low carbon steel sheets for automotive [71]

Old AISI Description		New SAE Classification		Property
Hot Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 180-290 MPa n value: 0.16 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J2339	Grade 3	Yield: 180-240 MPa n value: 0.18 min.
Cold Rolled Steels				
CQ	Commercial Quality	SAE J2329	Grade 1	N/A
DQ	Drawing Quality	SAE J2329	Grade 2	Yield: 140-260 MPa n value: 0.16 min.
DQ	Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 3	Yield: 140-205 MPa n value: 0.18 min.
DDQ	Deep Drawing Quality	SAE J-2329	Grade 4	Yield: 140-185 MPa n value 0.20 min.
EDDQ	Extra Deep Drawing Quality	SAE J2329	Grade 5	Yield: 110-170 MPa n value 0.22 min

New classification of other steel sheets for automotive according to SAE J2340 is shown in Table 2.

Table 2 Classification of other steel sheets for automotive [71]

Old AISI Description	New SAE Classification	
Cold Rolled Steels		
Dent Resistant (DR)	SAE J2340	Grades 180A, 210A, 250A, 280A Dent Resistant Non Bake Hardenable
Bake Hardenable (BH)	SAE J2340	Grades 180B, 210B, 250B, 280B Dent Resistant Bake Hardenable
High Strength Solution Strengthened	SAE J2340	Grades 300S, 340S High Strength Solution Strengthened
High Strength Low Alloy (HSLA)	SAE J2340	Grades 300X,Y; 340X,Y;380X,Y High strength low alloy 20X,Y;490X,Y;550X,Y
High Strength Recovery Annealed	SAE J2340	Grades 490R, 550R, 700R, 830R High Strength Recovery Annealed
Dual Phase (DP) (HSS)	SAE J2340	Grades DH/DL 500-1000 MPa Tensile Ultra High Strength Dual Phase
Martensitic Grade M, HSS	SAE J2340	Grade M 800-1500 MPa Tensile Ultra High Strength Low Carbon Martensite

8.2. Physical and metallurgical properties of steel for automotive

The properties of thin low carbon steel sheets and strips depend on their chemical composition, method of steel and sheet production. Strict requirements are imposed on steel sheets not only in terms of their mechanical properties but also thickness tolerance and surface quality. These factors influence the structure, mechanical, and technological properties of ductile thin steel sheets.

Ductile thin steel sheets are produced from low carbon steels (up to 0.1 %). Besides carbon, the steels contain other elements that penetrate into the steel due to imperfect metallurgical process or are added to steel on purpose in order to improve the sheets properties (Mn, Si, P, S, Cu, Ni, Cr, Mo, O, N, Ti, etc.) [90], [91].

The structure of ductile low carbon steel consists of ferrite and cementite. Ferrite in the binary system Fe - C is bounded by a solid carbon solution in iron δ . However, ferrite in steels dissolves also other elements, thus creating a substitution solution (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W), or an addition solid solution (N, H, O). Ferrite is a soft structural stage; therefore low carbon steels (ferritic) are soft, with low yield strength, low strength, and high ductility and contraction values. These are steels with high resistance to fracture and good plastic properties. Plastic properties of these steels depend on the size and shape of the ferritic grain, the amount and distribution of impurities. In the case of steel sheets, the ferritic grain size is a compromise between the plasticity and smoothness of the product surface.

8.3. Interstitial free steels (IF steels)

IF steels are used for deep drawing and for components of a complex shape. They are characterized with high plastic properties; therefore they are suitable for deep drawing. High ductility is achieved due to low content of interstitial atoms, size of ferritic grain and texture created in recrystallization annealing (Figure 1) [71].

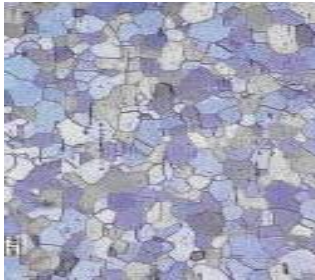


Figure 1 IF steel structure [92]

In these steels, interstitial elements (carbon, nitrogen) are bound to carbide, nitride or carbon-nitride forming elements (Al, Ti, Nb, V). Elimination of interstitial elements by binding them to elements that have high affinity during liquid steel processing results in achieving excellent compressibility of sheets on the final pressing. Free carbon in IF steels as well as in the steels containing free carbon (e.g. phosphorized steel) can be used e.g. for bake hardening (BH) effect [71], [76], [82].

In terms of metallurgy, IF steels require high purity and control of inclusions morphology. Due to non-existent interstitial reinforcement, they have low yield strength (below 160 MPa) and are fully non-aging.

8.4. Bake hardening (BH) steel

In the case of sheets for producing complex-shaped pressings by cold pressing and the subsequent surface treatment by vanishing, the properties required in terms of technology are good compressibility and uniformity of properties also in terms of a product utility properties (stiffness and constructions safety), high strength and dynamic load capacity. These requirements are to great extent met by BH steel pressings [71].

BH steels before pressing have low values of yield strength and high plasticity. After pressing and application of varnish, deformation-thermal aging occurs during baking, which results in increasing the yield strength by 30 - 70 MPa and increase in strength. This way the sheet is more resistant to deformation. In order to enable BH effect, especially physical and metallurgical conditions have to be met, BH effect control by controlling carbon dissolved in ferrite require that nitrogen is fully bound to AlN. The precipitation of AlN is controlled by Al and N content, coiling temperature, recrystallization annealing and the accompanying elements (Figure 2).

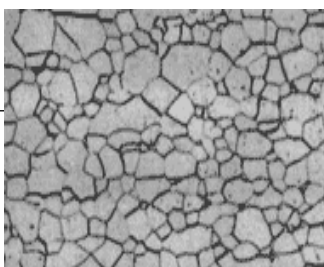
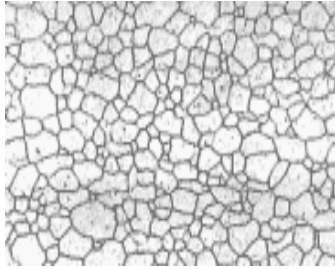


Figure 2 BH steels structure [92]

8.5. HSLA steels

Low alloy steels (HSLA Ductile Low Alloy) with ferritic-perlitic structure are fine-grain steels with low content (max 0.15 %) of one element of combination of Al, Ti, Nb, and V. The effect of low alloy elements consists in their affinity to carbon and nitrogen with solubility of carbides, nitrides, and carbonitrides in austenite and ferrite and strengthening



mechanisms (Figure 3) [71].

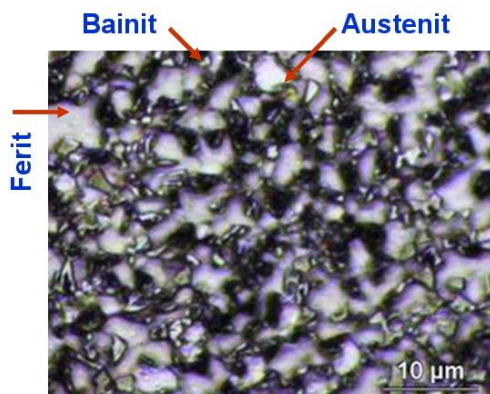
Figure 8.3 HSLA steel structure [92]

Low alloy steel sheets are characterized by a fine structure and higher cold weldability. Low alloy steels have significant grain boundaries (grain refinement) and dispersion reinforcement of intermediate compounds (carbide, nitride, and carbonitride compounds) of micro alloying elements

9. Materials in Current Automotive II.

9.1. Multi-phase steels (CP, TRIP steels)

Steels with Transformation Induced Plasticity (TRIP) are a promising material in automotive. They have good strength properties and excellent ductility in cold forming. During their plastic deformation, austenite is converted into deformation-induced martensite, which significantly contributes to the overall material strength. As a result, the deformation is gradually redistributed evenly over the entire deformed zone, thus preventing the local accumulation of the deformation at critical points. Similarly, the formation of deformation-induced martensitic plates can slow the propagation of cracking and thus



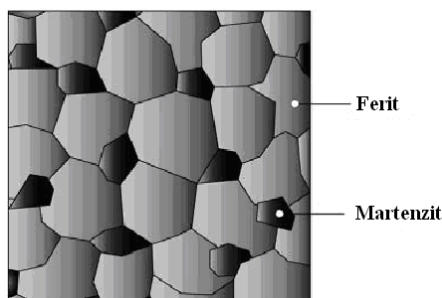
improve fatigue properties (Figure 1) [71].

Figure 1 TRIP steels structure [92]

Legend: ferit, bainit, austenit – ferrite, bainite, austenite

9.2. Dual-phase steels (DP steels)

The structure of currently produced dual-phase steels used for steel sheets manufacturing for cold forming most often consists of ferrite and martensite. Recommended carbon content in these steels is not higher than 0.13%. Other elements are Mn, Si, Mo, Cr



or V (Figure 2).

Figure 2 DP steels structure [92]

Dual-phase ferritic-martensitic steels are manufactured using the intercritical annealing or controlled cooling method. The method of intercritical annealing consists of heating the material after cold rolling to the temperature in the interval of AC1 - AC3, with a required holding time 5-15 minutes, and subsequent controlled cooling at supercritical speed, which ensures the required volume fractions of ferrite and martensite, [71]. Another method of producing dual-phase ferritic-martensitic steels consists in adjusting technological conditions of hot rolling process, or choosing chemical composition of these steels so that the required dual-phase ferritic-martensitic steels structure is achieved immediately after hot rolling.

9.3. Maraging steels

The name is a combination of two successive phase transformations causing reinforcement (martensitic and aging). They are low carbon steels with the carbon content $C < 0.03\%$, $Mn < 0.1\%$, $Si < 0.1\%$, $S < 0.01\%$, $P < 0.01\%$. Highly undesirable additives are C, S, N, because their presence increases the density of the dislocation grounding points formed by carbides and nitrides, which are mainly discharged at the grain boundaries. This results in reduced plastic properties. Similar effect is caused by sulphur-based inclusions (Figure 3) [71].

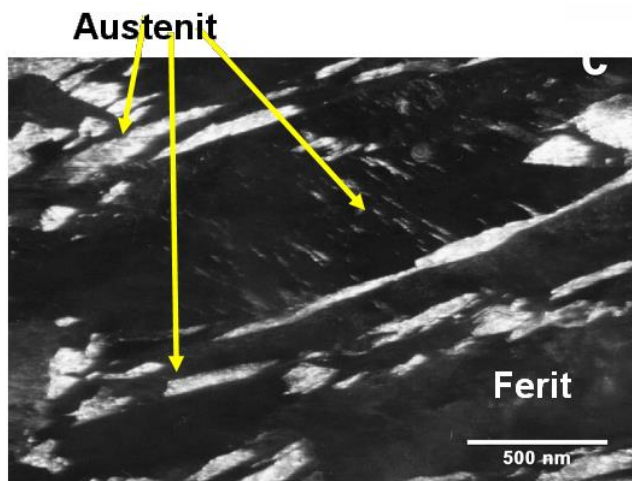


Figure 3 Martensitic steels structure [92]

These conditions ensure the dissolution of the particles in austenite and at the same time the relaxation of potential stress caused by the previous processing. After hardening, the structure is formed by almost carbon-free nickel martensite, which is characterised by high plasticity, relatively low hardness (30-35 HRC), and tensile strength about 1000 MPa and good machinability. During the aging process, dispersion particles of intermetallic phases, containing mainly Mo and Ti, are discharged in martensite. They en-

able to achieve the hardness of up to 62 HRC. These steels have a lot of important technological properties that can be characterized as follows: high dimensional stability during heat processing and long-term operation; low strain hardening exponent, and good plasticity, which enables to use all kinds of hot and cold forming with high degrees of deformation; good machinability of especially in hardened condition; suitability for various curing methods; good weldability.

9.4. Hot rolled sheets

Their common thickness is 2 – 15 mm, rarely 1.5 – 25 mm. Breaking load can change in the range of 5 – 50 %. Besides high strength in static and dynamic load, other required properties are good cold compressibility and weldability. They are made from structural and drawing steel.

Structural steel sheets are used for load bearing elements with lower requirements for cold formability. The range of strength and plastic properties is determined by the following values: $R_{e\ min} = 200 - 360$ MPa, $R_m = 300 - 650$ MPa, $A_{5\ min} = 22 - 26$ %.

Drawing steel sheets are used for manufacturing structural elements; very good cold compressibility is required. The range of their mechanical properties is determined by the following values: $R_{p0.2\ max} = 250 - 360$ MPa, $R_m = 250 - 450$ MPa, $A_{5\ min} = 29 - 45$ % (Table 1).

Table 1 Hot-rolled high-strength steels for automotive [71]

Mechanizmus spevnenia	Hlavné prvky	Úroveň R_m [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie
Tuhým roztokom (TR)	Si – Mn No Nb+V	490-590	Dobrá ohýbatelnosť	Konštrukčné komponenty rámových dielov Podvozkové časti
Precipitáciou (P)	Nb, Ti, V Nb + Ti Nb + Ti + Cr	490 – 780	Ťažný typ, Vysoké výtlačky s obrubou	Konštrukčné komponenty Ráfy kolies Konzoly
Transformáciou (T)	F + M	Si – Mn Si (Cr, P, Mo)	540 – 980 Vysoké predĺženie, nízka medzera sklzu Nízky pomer $R_{p0.2}/R_m$	Podvozkové časti Disky kolies
	F + B	Si – Mn Si – Mn – Nb Cr, Ti + Cr	440 – 780 Vysoké predĺženie	Závesy Držiaky motora
	M + B	Si, Ti	590 – 1100 Vysoká pevnosť	Podvozkové časti Nárazová výstuž dverí
	RA	C, Si Si – Mn Al – Mn (Cr, P)	590 – 980 TRIP typ Vysoké predĺženie Dobrá rovnováha medzi pevnosťou a ťažnosťou	Crash zóny (nárazníky, podvozkové časti, stĺpiky, nárazové výstuže dverí)

Legend: mechanizmus spevnenia – hardening mechanism, tuhým roztokom – by solid solution, precipitáciou – by precipi-

tation, transformáciou – by transformation, hlavné prvky – main elements, úroveň – level, charakteristika – characteristics, dobrá ohýbatelnosť – good bendability, ťažný typ – drawing, vysoké výťažky s obrubou – high drawings with trim, vysoké predĺženie – high extension, nízka medzera sklzu – low slip gap, nízky pomer – low ration, vysoká pevnosť – high strength, TRIP typ – TRIP type, dobrá rovnováha medzi pevnosťou a ťažnosťou – good balance between strength and tensility, praktické použitie – practical use, konštrukčné komponenty rámových dielov – structural components, podvozkoé časti – chassis parts, ráfy kolies – wheel rims, konzoly – brackets, disky kolies – wheel discs, závesy – hinges, držiaky motora – motor holders, nárazníky – bumpers, sloupky – pillar, nárazová výstuž dverí – door impact reinforcement

9.5. Cold rolled sheets

For practical use, they are produced in the thickness ranging between 0.50 – 2.00 mm, or exceptionally 0.30 – 3.00 mm. Tensile strength of cold-rolled sheets ranges between 300 – 1000 MPa, yield strength 150 – 800 MPa and ductility A80= 15 - 50 % (Table 2) [84].

Properties of steel for automotive can be adjusted by choosing a chemical composition and steel Hardening mechanisms, including the following ones:

- Strengthening of solid solution by interstitial and substitution elements,
- Dislocation strengthening,
- Grain boundary strengthening,
- Precipitation hardening,
- Transformation hardening.

The analysis of the influence of individual strengthening mechanisms to formability and properties of the resulting ferritic matrix, based on the literature, points to the following: transformation hardening shows the strongest influence on steel properties; the resulting steel properties depend on more hardening and strengthening mechanisms at the same time, and these contributions are depending on the chemical composition of steels, [5], [6], [84].

If only high strength with minimal plasticity is required, it can be achieved e.g. by combining solid solution strengthening and transformation hardening of martensitic steel. However, more often also good plastic properties are required. This can be achieved only by combining various strengthening and hardening mechanisms.

The most efficient strengthening mechanism is structural strengthening achieved by controlled phase transformation, which could be combined with other strengthening mechanisms (TR, P and grain refining). Structural hardening by means of controlled phase deformations can be carried out as follows:

- In the processes of hot plastic deformations,
- By means of controlled rolling (RV) and controlled cooling (RO),
- In the processes of cold plastic deformation,
- Using thermal processing.

Carbon causes decrease in plasticity of cold-rolled steels and deteriorates weldability, therefore there is a clear tendency to focus on minimizing its content in the steels intended for use in automotive. Until the introduction of vacuum technology, the C content was $C > 0.05\%$. Introducing vacuum technology in steel production technologies enables to manufacture low carbon steels, which are further classified according to the C content as follows: [82]:

- LC steels (low carbon) 0.03 – 0.2 % C
- ELC steels (extra low carbon) 0.01 – 0.03 % C
- ULC steels (ultra low carbon) 0.01 – 0.003 % C
- SULC steels (super ultra low carbon) < 0.003 %

Table 2 Cold-rolled high-strength steels for car components [71]

Mechanizmus spevnenia		Hlavné prvky	Úroveň R _m [MPa]	Charakteristika	Praktické použitie
Tuhým roztokom (TR) (LC – low carbon)		P – Mn Si – Mn P	340 – 440	Ťažný typ Dobrá lisovateľnosť BH typ	Vonkajšie panely Vnútorne panely Konštrukčné prvky Konzoly, stĺpiky
Tuhým roztokom (TR) (ULC – ultra low carbon)		P – Mn P – Si Mn – P – Si Ti, Nb	340 – 590	Hlboko ťažný typ BH typ	Hlboko ťahané časti Vonkajšie panely Vnútorne panely
Precipitáciou (P)		Mn Nb Si – Mn – Nb	390 – 590	Dobrá zvariteľnosť	Vnútorne panely
TR + P		Mn – Ti Si – Mn – P – Nb Cu – Ti	490 – 590	Dobrá ohýbateľnosť Typ s vysokou „r“ hodnotou	Výstuže Konzoly
Transformáciou (T)	M M + B	Mn – Si Mn – Si – P Mn Si – Mn – Nb	490 – 1470	Nízky pomer R _{m,2} /R _m BH typ	Vnútorne panely Konštrukčné prvky Výstuže Nárazníky
	B	Mn – Cr	440 – 590	Vysoké výtážky s obrubou Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky Konzoly Výstuže
	RA	Si – Mn	590 – 980	TRIP typ Vysoké predĺženie	Konštrukčné prvky v crash zónach
P + T		Mn – Si – Ti Mn – Si – Ti – Mo	780 – 1470	Ultra-vysoko pevné	Nárazníkové výstuže Nárazová výstuž dverí

Legend: mechanizmus spevnenia – strengthening mechanism, tuhým roztokom – solid solution, precipitáciou – by precipitation, transformáciou – by transformation, hlavné prvky – main elements, úroveň – level, charakteristika – characteristics, ťažný typ – drawing steel, dobrá lisovateľnosť – good compressibility, BH typ – BH type, hlboko ťažný typ – deep drawing steel, dobrá zvariteľnosť – good weldability, dobrá ohýbateľnosť – good bendability, typ s vysokou „r“ hodnotou – type with high „r“ value, nízky pomer – low ratio, vysoké výtážky s obrubou – drawings with a trim, vysoké predĺženie – extension, TRIP typ – TRIP type, ultra-vysoko pevné – ultra high strength, praktické použitie – practical use, vonkajšie panely – external panels, vnútorne panely – interior panels, konštrukčné prvky – structural elements, konzoly – brackets, stĺpiky – pillars, hlboko ťahané časti – deep drawing components, výstuže – reinforcement, nárazníky – bumpers, crash zóny – crash zones, nárazníkové výstuže – bumper reinforcement, nárazová výstuž dverí – door impact reinforcement

9.6. Galvanized sheets in automotive

Classification of galvanized sheets.

Galvanized steel sheets are not a new material. The development of their use in various areas of engineering production makes them a very progressive commodity. The use of galvanized sheets between 1975 and 2000 was double, while the sales of untreated sheets decreased almost by half. The sector processing the largest amount of galvanized steel sheets is primarily automotive [71].

In steel sheets surface treatment by metal coatings, zinc is primarily used due to its relatively low price and great corrosion properties. The durability of the coating is proportional to its thickness and the environment in which the zinc coating is applied [7], [9], [29].

The demands placed on galvanized materials are the following: low weight, resistance to corrosion, technological formability, easy weldability, surface suitable for surface treatment, above-average strength and plastic properties.

9.6.1. Hot dip galvanized steel sheets

Hot dip galvanization is the most widely used method of protecting steel products against corrosion. Most of them (more than 50%) are used by automotive and construction industry. To improve corrosion properties, Al and Si is sometimes added in the coating. Galvanization, especially hot dip galvanization is one of the most cost-effective processes of steel strips surface treatment. Single-sided and double-sided galvanized sheets with the same or different coating thickness are produced and intended both for external and internal bodywork parts.

An important requirement that hot dip galvanized sheets must meet in terms of its use in automotive is avoiding the formation of flowers of zinc, which is an accompanying phenomenon of hot dip galvanization.

Meeting these requirements can be ensured as follows:

- Increasing the cooling rate of liquid zinc coating,
- Increasing the number of crystallization centres during the coating solidification process,
- Reduction of lead content in galvanic bath below 0.08 %
- Use of electrolytic zinc in the bath,
- Easy rolling of galvanized strip (0.8 – 1.5% removal).

9.6.2. Electrolytically galvanized sheets

Electrolytic galvanizing has been used since 1917. The production of electrolytically galvanized sheets is less common in the world than the production of hot dip galvanized sheets, accounting for about 10 – 15 % [71], [76], [82].

Compared to hot dip galvanized sheets, the advantages of electrolytically galvanized sheets are the following:

- The possibility to prepare very thin zinc coatings (starting from 0.4 μm),
- Relatively thin zinc coating ensures sufficient protection against corrosion
- Galvanization process does not influence the original mechanical properties of the basic material, especially its capacity of deep drawing,
- Zinc coating with a conversion layer ensures good adhesion of organic coating,
- Differentiated and single-sided galvanized sheets can be produced relatively easily

The usual thickness of the electrolytic coating required in automotive is below 7.5 μm . Electrolytically galvanized sheets use alkaline or acid electrolyte; the galvanization process is thus carried out in two types of bath:

- **In alkaline bath** – zinc is bound in the form of alkali zinc and in the form of complex zinc alkali cyanide. The bath has very good depth efficiency, fine-grained and quality structure of the coating and it is easy to recover. Due to these properties, cyanide baths have become widespread. According to the composition of the bath, brighteners, and operating conditions, more types of coatings are created: matt, semi-bright, and bright coatings. The basic composition of alkali zinc baths is zinc cyanide, sodium cyanide, sodium hydroxide, sodium sulphide, and brighteners. The cathode current density of the bath is 1 – 6 A.dm², bath temperature 20 – 35°C.
- **In acid bath** – the most important ones are sulphated and fluoroborate baths. Acid baths have very low depth activity and poor hiding power. The bath composition is more stable than in the case of cyanide baths. It is possible to use high current density at which baths with high cathode ore extract are operated. They are used for galvanizing wires, sheets, strips and products of a simple shape. The basic component of acid bath is zinc sulphate, aluminium sulphate, ammonium chloride, and boric acid. The cathode current density is 1 – 6 A dm², the cathode current yield is 95 – 100 %, bath temperature 20 – 30°C. The coating formation rate in acid galvanization baths is about 8 times higher than in the case of alkaline bath.

With a constant development of cyanide-free acid baths for galvanization, results have been achieved that enable to replace nickel and chrome plating in many cases. These are mainly:

- non-toxic bath,
- Glossy surface
- Durability and cost-effectiveness

10. Stainless Materials

There are several grades of steels according to various criteria. According to processing method, there is a class of steels for forming in the form of semi-finished products, according to the use – structural steel, according to the chemical composition guaranteed by supplier – quality steels (producers guarantee their chemical composition, i.e. the minimal and maximal content of elements), according to chemical composition – alloy steels, which contain one or more alloying elements. All the steels mentioned above represent stainless steels of class 17 [4], [70], [71].

In Europe, classification and marking of steels is unified based on European standards (EN) (ČSN EN in the Czech Republic). Steels classification is given by the European standard EN 100020, which defines:

- The term “steels for forming”,
- classification of steels according to their chemical composition,
- dividing into main groups based on the properties and use.

Steels for forming are referred to as materials in which the iron proportion by mass is higher than that of any other element, containing less than 2 % of C and containing also other elements.

10.1. Classification of steels based on their chemical composition

- **Non-alloyed steels** – the content of the individual elements does not achieve these limit values:

Mn = 1.65	Si = 0.60	Cu = 0.40	Ni = 0.30
W = 0.30	Co = 0.30	Al = 0.30	V = 0.10
Mo = 0.08	Ti = 0.05	Bi = 0.10	Nb = 0.06
Zr = 0.05	Pb = 0.40	B = 0.008	

Proportion by mass is given in %.

- **Alloyed steels** – the content of individual elements in at least one case achieves or exceeds the above-mentioned limit values of the alloying elements content.

Classification of steels by quality according to the properties and use:

- Alloy quality steels – the properties are achieved by prescribed chemical composition and special processing conditions. This group includes alloy structural steel,

alloy steel for pressure lines and vessels, steels for rolling bearings, tool steels, high speed steel, steels with special physical properties – ferritic Ni steels.

According to the content of alloying elements, they are divided into the following sub-groups:

- Stainless steels with the content of $Cr_{\min} \geq 10.5\%$ a max. C content 1.2 %,
- High speed steel with the content of $C \geq 0.60\%$ and $Cr = 3.0 - 6.0\%$, and besides other elements, they contain at least two elements of this group: Mo, W, V (overall content over 7 %).

10.1.1. Stainless steels

Stainless steels are chromium alloys with iron, containing about 12 - 30 % of chromium, up to 30 % of nickel or up to 2.4 % manganese at a certain amount of Mo, Si, Cu, Ti, Ni, N, etc. (max. a few percent). Chromium ensures the passivity of these alloys, which makes it the most important element for achieving resistance against corrosion. Stainless steels are in some environments prone to localized corrosion (pitting, crevice, intergranular, stress corrosion cracking). However, this can be avoided by choosing a suitable type of steel of given conditions. Although chromium, nickel, manganese and other alloying elements amount is quite large in stainless steels, the basic element is iron and its alloy with carbon, i.e. steel. Stainless steels are divided into several groups based on their chemical composition and structure [71]:

- austenitic
- martensitic (hardenable)
- ferritic
- austenitic-ferritic (duplex)

10.1.2. Austenitic steels

They have the highest resistance against corrosion of all basic types of steels. This can be even increased by adding Mo and Cu. An important property is ductility and strength. In order to obtain different properties, the basic composition is changed by adding other elements in order to increase:

- overall resistance to corrosion (chromium, molybdenum, copper, silicon, nickel)
- quality of mechanical properties (nitrogen)
- machinability (sulphur, selenium, phosphorus, lead, copper)
- resistance against weld cracking (manganese)
- resistance against pitting and crevice corrosion (molybdenum, silicon, nitrogen)
- resistance against corrosion cracking (reduction of the phosphorus, arsenic and

- antimony content)
- creep strength (molybdenum, titanium, niobium, boron)
- heat resistance (chromium, aluminium, silicon, nickel)

10.1.3. Martensitic steel

Its resistance to corrosion is low. It can be used in combination with nitric acid, boric, acetic, benzoic, oleic, picric acid, with carbonates, nitrates, and lye. However, their resistance decreases with increasing temperature. The resistance against atmospheric corrosion is sufficient on in very clean air.

10.1.4. Ferritic steels

They are magnetic and sufficiently ductile. Higher chromium content increases their resistance against corrosion, which is higher than that of martensitic steels in oxidizing environments. They can be used in chemical industry, in nitric acid, in transport, for air conditioning, architecture. However, they are not suitable for some industrial atmospheres. They are not suitable for welded structures.

10.1.5. Austenitic – ferritic (Duplex) steels

They are derived from classic austenitic steels. Due to high chromium and molybdenum content, they have excellent resistance against fracture and corrosion. The microstructure of duplex steels ensures high resistance against stress corrosion cracking, stress corrosion, and erosion. Weldability of duplex steels is good. [71].

10.2. General characteristics of stainless materials

Corresponding qualities in ČSN

- Ferritic steels 17020, 17021, 17022, 17023, 17024, 17040
- Austenitic steels 17240, 17249, 17352, 17350, 17349, 17248, 17348
- Austenitic-ferritic 17381

10.2.1. Cold-rolled stainless sheets

- They are produced according to **DIN 17441/EN 10088-2**, with a tolerance **DIN 59382**.
- Surface:
 - **2R (IIId)** cold-rolled, bright annealed, brilliant polish.
 - **2B (IIlc)** cold-rolled, pickled, annealed, fine rolled, opaque polish.
 - **2G** cold-rolled, grinded (various kinds of grinders P80 - P400) or grinded and brushed.
 - **2J** cold-rolled, brushed (Scotch-brite)

10.2.2. Hot-rolled stainless sheets

- They are produced according to **DIN 17440/EN 10088-2, AD-W2**. Tolerance **DIN 59382, EN 10029**.

10.2.3. Decorative steel sheets

- Quality: 1.4016, 1.4301, 1.4404 (AISI 430, 304, 316L)
- Surface treatment 2B (annealed, pickled), 2R (bright annealed);
- Other surfaces at request
- Dimensions: thickness 0.5-2.0 mm
- Formats: 1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm
- Other formats at request

10.2.4. Flat-rolled sheets

- Quality: 1.4016 ; 1.4301 ; 1.4404 (AISI 430 ; 304 ; 316L)
- Surface treatment: 2B (annealed, pickled) ; 2R (bright annealed) ; R13 ; brushed; colored;
- other surfaces at request
- Dimensions: thickness 0.5-2.0 mm
- Formats: 1000×2000 mm; 1250×2500 mm; 1250×3000 mm; 1500×3000 mm ;
- Other formats at request

10.2.5. Sheets with special surface treatment

Colored, brushed, chased, and etching decorative surfaces (various patterns).

10.2.6. Floor (tear) sheets

Further information about types, formats, and surface treatment can be obtained from producers at request.

11. SSAB (Swedish Stainless) Steels

There are many properties of steel. It can be hard or soft, tough or brittle, thick or thin, or extra strong to resist wear. There can also be a combination of all these properties, where the steel properties are determined by the technological process in steel works, by rolling and subsequent processing. [81].

Swedish producer specializes in production of high-strength steel. In steel manufacturing they focus on car manufacturing, steels for household, products for free time, internal equipment, large buildings, bridges, means of means transport, industrial plants or health care facilities. In steel production, there are about 500 kinds of steel to choose.

The share of progressive SSAB steels is steadily increasing with the growing number of customers discovering its advantages and the possible application of these steels. In order to achieve the optimal results, it is necessary to combine technologies and innovations.

There are two different procedures in steel manufacturing:

- Steel produced from ore – pig iron from iron ore is in Sweden produced from iron ore pellets in blast furnace in Luleå and Oxelösund. A small amount of ferrous scrap is added when pig iron is refined into crude steel in LD. Sweden also produces steel sheets and heavy steel.
- Steel produced from ferrous scrap – it is produced in the USA, where the steel works recycle ferrous scrap in electric arc furnaces and crude steel is produced only from ferrous scrap. The USA produce heavy sheets.

In both cases, the resulting composition of steel is in line with the SSEB procedures of refinement before the melted steel is cast and cooled to BRÁMY in continuous casting line. High strength steels gain their strength by adding alloying elements, and the production methods, e.g. hardening in extremely fast hardening processes. High accuracy is the main condition.

11.1. Type of SSEB steels

Swedish steels producer, SSEB, focuses on solving complex problems. The producer's experts have excellent knowledge and experience in all areas of steel production, starting from various steel properties (strength, production engineering aspects, forming, joints) to wear and surface treatment.

A good example is European automotive, which has increased the purchase of modern

high-strength steel in the last ten years. As a result, vehicles achieve good results in crash tests, lower fuel consumption, and contribute to reduction of carbon dioxide emissions. The producer of Swedish steels has a leading position in the market of the most progressive hardened and refined steels. Docol products (cold-rolled) are often used for passenger cars. Customers often choose combinations of HARDOX, WELDOX, DOMEX and Docol steels in heavy vehicles, trucks, trailers, truck superstructures, containers, and cranes in order to optimize their products. This results in increasing the load bearing capacity, durability, and reduction of maintenance costs. There are also other possibilities of application. TOOLOX is a special type of steel used for manufacturing compressing tools [81].

Technical support specialists are engaged in the preparation of new products and projects from the very start. The producer often develops new types of steel intended for a specific purpose. Developing new products in this way has clear advantages.

11.2. The current product range of SSSEB steels:



DOMEX ® are hot-rolled sheets used for ships manufacturing, buildings, machines, vehicles, lifting equipment, containers.



HARDOX ® is hardened, tempered, and wear-resistant steel used tipper superstructures, containers, shredders, mills, buckets.



DOCOL ® is cold-rolled steel sheet, in the forms of soft steel for compressing and bending to ultra high-strength steel.



DOGAL it is a kind of DP steel, with good formability and strength.

Dogal 600 D and 800 DP are extra and ultra high-strength steels, hot-dip galva-

nized.



WELDOX ® is high-strength structural steel used for lightweight products with the same or higher strength compared to the products made of common steel. It is used e.g. for crane manufacturing, trailers, and vehicles.



PRELAQ ® is coated steel sheet for construction industry. It is used for roof covering products, facades, roofs, rainwater pipes, forgings.



ARMOX ® is steel used as a protection in transporting e.g. teller windows, mine clearing vehicles, personal protection, etc.



TOOLOX ® are modern tool steels for compressing tools and machine elements.

QSTE – high-strength steel sheets, hot-rolled, for cold-forming.

QSTE steels are fine-grain, micro-alloy thermally and mechanically TM rolled steels, whose higher strength make them suitable for cold bending.

11.3. Environment and recycling

Natural resources are limited. Therefore saving resources and using them as effectively as possible is very important. First of all, it is important to recycle materials such as iron that has already been extracted from its natural deposits.

During its lifetime, about 90 % of all waste iron and steel is reused or recycled. Steel scrap, such as old vehicles, machines, and rail transport equipment is melted, refined, and new steel for new products is manufactured. Steel is a part of a cycle in which everything can be renewed. About one third of the world steel production is based on scrap recycling. Since the demand for steel is still increasing and exceeds the available scrap supply, new steel has to be manufactured from iron ore. Swedish producers´

blast furnaces are among the most energy efficient in the world.

By means of steam turbines, process gases are used as a source material for production of electricity in combined heat and power (CHP) plants. This satisfies about a half of electric energy SSEB producers need for their three production plants. In the next stage, steam from steam turbines is used for heating water in a district heating system for 35.000 households supplied with water from district heating system. About 40.000 other households use a district heating system from process gas, where the heat is obtained from blast furnaces gas.

From the holistic point of view on industry and energy industry, the overall emissions of carbon dioxide can be reduced. In addition, other energies can be renewed in steel making industry. Therefore, if coal is used, it shall be used primarily for steel manufacturing.

Production facilities in Sweden and the USA use natural gas for heating in the processes of scrap recycling before scrap is melted in electric arc furnaces. Natural gas is also used for heating BRÁM in plate mills.

These producers' production plants achieve lower emissions in the air and water, especially due to using side products, effectively separating energy gases, dust, slag, wet sludge, cooling liquid, they process water, OKOVINY, sulphur, tar, benzene, etc. The materials are gathered and separated. A great number of these materials are recycled. Side products of steel manufacturing industry are assets that could be processed and used by new users as raw material.

Merox, a steel producers company, focuses on the use of side products. It processes products and raw materials for a wide range of applications, such as construction materials, materials for roads, horse riding path, raw material for producing cement, fertilizers, ferrite for magnets and pigments for paints. Using side products as new raw materials means an important protection of natural resources.

Blast furnace soot, dust, and sludge from water treatment plants from production plants can be mixed with fine fractions of scrap and pellet debris, and serve as a new raw material for blast furnace, e.g. in the form of briquettes.

Blast furnace slag is an excellent construction material for construction of roads, as well as for cement manufacturing industry. High Ca content (30 %) is a great advantage. If slag is used for roads construction, Ca binds it in a continuous in load unit. At the same time, Ca binds other elements in the slag and prevents acidification due to pH increasing. Blast furnace slag is a good example of possible application of a closed cycle in steel works.

Continuous sampling of air, water, and fish and their analysis ensure the minimum

impact on the environment. Environmental organizations create and perform extensive programmes for controlling and monitoring all emissions, which ensures that those do not exceed the allowed limits.

Swedish steel producer has their working environment policy, where safety is a priority, since it has a vital importance for job satisfaction, employees' development and company profitability. The primary goal is that there shall be no accident, injury or occupational diseases, both on the side of employees and suppliers or visitors. It guarantees a systematic approach to the working environment and safety at work.

12. Composite Materials I.

A qualitative change in solving the contradiction between the required properties and the actual properties of homogeneous materials are composites, whose component are able to perform the functions that are not compatible within one material. Composite materials include a wide range of diverse materials [59], [60], [61], [62].

According to properties, composite materials can be divided into:

- Composites with good mechanical properties;
- Composites with special physical and chemical properties.

Composites are materials that are combinations of existing homogeneous materials. The basic material, matrix, has a function of a binder. The second component, fibres, layers, or dispersion particles, are reinforcing phases. The properties of a composite compound from material A (reinforcing component) and B (matrix) are influenced especially by the following parameters:

- volume fraction of the components A and B (V_a , V_b),
- geometry of the system, which is characterized by:
 - one-dimensional continuous phase (fibre, stick),
 - two-dimensional continuous phase (plate, board),
 - three-dimensional continuous phase (spatial network),
- degree of continuity (from total continuity to dispersoids),
- arrangement of phases (parallel and serial arrangements are extremes).

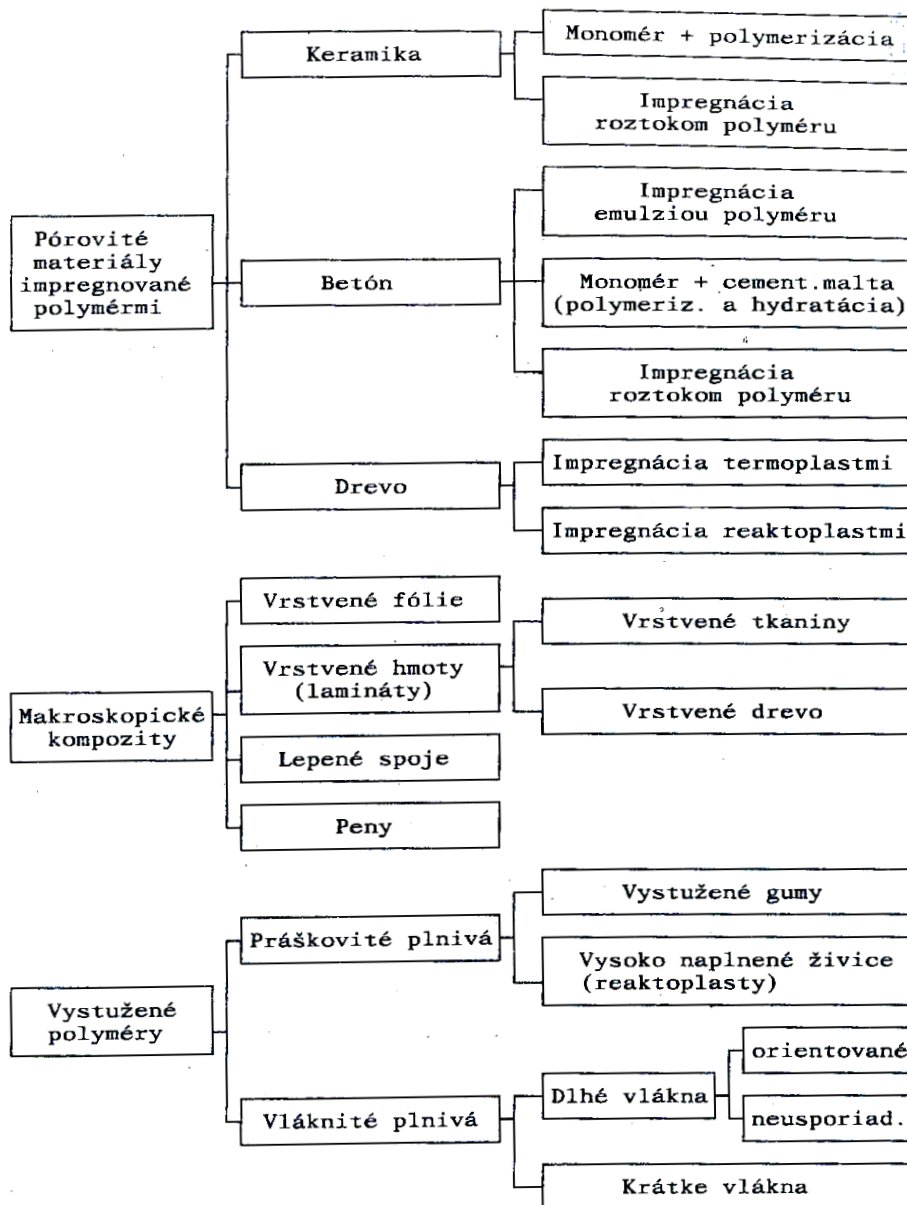
Mechanical properties are most influenced by the arrangement of the phases. Composite properties can be considered additive, which means they can be derived from the properties of the starting materials. [61]

12.1. Polymer-based composites

Almost all biological systems consist of polymers, which either perform mechanical functions (wood, bones, skin), or influence chemical reactions in the nature (leaves, cells). People have been using polymers for thousands of years, but synthetic polymers were developed in the last century. Simple synthetic polymers have higher strength than metal materials, but also than wood or bones. It is because wood and bones are composites: their polymer matrix is reinforced by fibres or particles. For this reason, also the development of plastics later focused on composite materials. Currently, there is a large number of polymer-based composite materials that increases every year. Table 1 shows

their classification [59], [60], [61], [62].

Table 1 Polymer-based composites [61]



Legend: pórovité materiály impregnované polyméry - porous materials impregnated by polymers, markoskopické kompozity - macroscopic composites, vyztužené polyméry - reinforced polymers, keramika - ceramics, beton - concrete, drevo - wood, vrstvené fólie - laminated foil, vrstvené hmoty - laminated materials, lepené spoje - glued joints, peny - foams, práškovitá plniva - powdered fillers, vláknitá plniva - fiber fillers, monomér + polymerizácia - monomer + polymerization, impregnácia roztokom polyméru - impregnation with polymer solution, impregnácia emulziou polyméru - impregnation with a polymer emulsion, monomér + cementová malta (polymerizace a hydratácia) - monomer + cement mortar (polymerization and hydration), impregnácia termoplastmi - impregnation with thermosetting plastics, vrstvené tkaniny - laminated fabrics, vrstvené drevo - laminated wood, vystužené gummy - reinforced rubber, vysoko naplnené živice - resins, dlhé vlákna - long fibers, krátke vlákna - short fibers

Macroscopic composites are composites in which macromolecular material creates a macroscopic continuous phase. The most important macroscopic composites are laminated materials (laminates), which are formed by joining more layers of polymers and reinforcing material. Reinforcement is not in the matrix but the individual fibres are joined in the form of a fabrics with various bound or in the form of mats or rovings (strand of fibres). The individual layers are saturated by liquid or powdered resins that are reinforced in the next stage. The most widely used laminated plastics according to the type of reinforcement include **glass laminates**. Laminates are used for manufacturing parts of a bodywork of some vehicles (bodywork of Trabant is from polyphenol resin reinforced by mats of short cotton fibres). Glass laminates are also used for manufacturing of sports aircrafts (airframes and wings).

Impregnated porous materials are composites based on ceramics, concrete, and wood. These materials are filled with polymers.

Laminated safety glass prevents glass fragments from dispersing when broken. It is manufactured by joining two or more glass panes with plastics. [61].

Lightweight materials, foams, are polymers containing cavities of different shapes and sizes. They are manufactured from plastics and natural rubber. Technically the most important lightweight materials are PS (polystyrene), PVC (polyvinyl chloride) and foam thermoset. They are used e.g. for the interiors of means of transport (seats) and as a packaging material [59], [60], [62].

A special case of laminated plastics are **sandwiches**. They are laminated or aluminium coatings with lightweight plastics core, intended e.g. for manufacturing bodyworks of refrigerator trucks and caravans.

Reinforced polymers are materials created by joining a reinforcement material (filler) and a macromolecular material, mostly in order to improve the mechanical properties. The polymer component is the basic continuous matrix of a composite. Filler can be organic or inorganic. The base of reinforced polymers are thermosets, e.g. PTFE (polymer of fluorinated ethylene – Teflon) filled with graphite and powdered bronze used for movable, non-lubricated gasket and sliding bearings. [62].

12.2. Composites with metal matrix

Composites with metal matrix can be divided into:

- **Disperse reinforced materials** – metal matrix + non-coherent dispersoids,
- **Fibre composites** – metal matrix + thin wires or monocrySTALLINE fibres.

Disperse reinforced materials are composites with matrix reinforced by disperse continuous phases. They are mostly produced by means of powder metallurgy technologies.

They have polycrystalline matrix with disperse particles, most often of oxide, carbide, and nitride type. Reinforcement can be both direct (this consists in inhibiting the movement of matrix dislocations) and indirect (this consists in the fact that in forming, dispersoids increase the density of dislocations and refine the grain and subgrain structure). Theoretical studies and experiments showed that the maximum reinforcement is achieved by means of following structural parameters:

- dimensions of the reinforcing particles of the secondary phases (dispersoids) shall not exceed 50 nm,
- medium distance between the reinforcing particles shall range between 0.1 – 0.5 μm and their distribution shall be even.

The parameters mentioned above indicate the real volume fractions of dispersoids.

Aluminium SAP (Sintered Aluminium Powder), i.e. aluminium reinforced by Al_2O_3 particles is the oldest disperse reinforced material. For its preparation, surface oxidation of aluminium powder is used during the milling process. Hard oxides on the surface of the aluminium particles crack, peel off, and pure metallic grains are welded. The result of these repeated processes is the formation of aluminium grains that are reinforced by oxide particles inside. The resulting aluminium powder is compressed, sintered and hot extruded. The advantage of SAP are very good mechanical properties, low density, good resistance to corrosion and good thermal conductivity [59], [60], [61], [62].

Dispal is a new material with the properties similar to SAP. In this case, it is aluminium reinforced by Al_4C_3 particles prepared by mechanical alloying of the mixture of aluminium and graphite powder. This powder is subsequently hot-compacted. Like SAP, Dispal is also used as a construction material especially in automotive and air transport. It is characteristic with high resistance to recrystallization and high $\check{Z}\text{ÁRUPEVNOST}$ between 300 - 500 $^\circ\text{C}$.

TD Nickel (98 % Ni, 2 % ThO_2) is nowadays considered a traditional, disperse reinforced material. Nickel reinforced by thorium dioxide has a high strength and is suitable for application at the temperatures of 1100 $^\circ\text{C}$ and higher.

Disperse reinforced $\check{Z}\text{ÁRUPEVNÉ}$ alloys are currently most often reinforced by Y_2O_3 , as ThO_2 is radioactive. It's mostly NiCrAl- Y_2O_3 alloys prepared by mechanical alloying. They are used for gas turbines of aircraft engines. They are characteristic with high $\check{Z}\text{ÁRUPEVNOST}$ to the temperature of 1200 $^\circ\text{C}$ and for a short time up to 1350 $^\circ\text{C}$.

Disperse reinforced stainless and $\check{Z}\text{ÁRUPEVNÉ}$ steels, austenitic and ferritic steels (reinforced by Al, Ti, or Th oxides) have higher resistance to radiation brittleness; therefore they are used at reactors construction. Due to their high strength (also at high temperatures – for a short time up to 1200 $^\circ\text{C}$) at acceptable toughness and corrosion resistance, they are used also in aerospace and rocket technology. Their disadvantages include high

costs, proneness to heat brittleness, problems with weld strength, frequent anisotropic properties and proneness to stress corrosion cracking. [61].

12.3. Fibre-reinforced composites

Fibre-reinforced composites with metal matrix (ca diameter of 2 - 250 μm), fibres (short thin wires) and whiskers (short single-crystal fibres with a diameter of about 1 μm).

Fibres (or wires) have a tensile strength of about 2000 - 4000 MPa. Materials reinforced with fibres are mostly shaped; therefore the composite material has a significant anisotropy of properties. They are manufactured using powder metallurgy, embedding the fibres with the basic material, or rolling of matrix metal foil interlaced by fibres. When considering plastic deformation at higher temperatures, the optimal ratio l/d is increased to about 50.

Composites with aluminium matrix are one of the most widely used materials reinforced by fibres. The most common material are *carbon fibres* that are either compressed between aluminium foils or coated with a Ti and B layer and aluminium. Important fibres are the *B* and *B* fibres + *SiC* (boron fibres covered with SiC layer).

Composites with titanium matrix are also used in aerospace (blades of air engine fans). Borsic and beryllium fibres are suitable for titanium reinforcement. Composites with a titanium alloy matrix of VT6 type achieve the fibre strength of 1 000 - 1400 MPa.

Heat-resistant composites are mainly on nickel super-alloys base with tungsten and corundum fibres, as well as graphite fibres. The proportion of the fibres is between 20 - 70 %, strength at the temperature of 20 $^{\circ}\text{C}$ is 1 400 - 2 100 MPa, creep time (1 000 h) at the temperature of 1 100 $^{\circ}\text{C}$ is 200 - 300 MPa, which is much higher than in the case of conventional heat-resistant alloys. They can be used at the temperatures of up to 1650 $^{\circ}\text{C}$.

Whiskers are short single-crystal fibres with a diameter of about 1 μm . They are usually prepared by crystallization from liquid and gas phase. The most convenient production is the production of sapphire ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) whiskers. They are prepared by heating aluminium oxide to 1 300 - 1 500 $^{\circ}\text{C}$ in hydrogen atmosphere containing water vapour. Oxide is reduced, aluminium evaporates and re-oxidates. Aluminium oxide then deposits in the form of whiskers in the cooler part of reaction space [59], [60], [61], [62]. Composites reinforced with whiskers are easy to form and can achieve high strength. For example, aluminium with SiC whiskers has a tensile strength of up to 600 MPa. There have also been developed Al_2O_3 or B_4C whiskers in silver and niobium. Composites with niobium matrix appeared to be extremely suitable materials for stress at the temperature of 1100 $^{\circ}\text{C}$. The main disadvantage of whiskers is their high price.

13. Composite Materials II.

13.1. Sintered metal ceramic materials

Powder metallurgy enables to produce more types of new materials that cannot be obtained by using conventional technological procedures. This includes also sintered materials made of the mixture of metal and ceramic powders. These are mainly sintered carbides to cutting tools and friction materials for manufacturing brake linings.

Sintered carbides belong among sintered micro-heterogeneous materials. They represent an advanced stage of hard tool materials. Powder metallurgy enabled to create materials, in which the high hardness of hard carbides is used, which are very brittle when cast. The basic material for currently used sintered carbides are particles of high strength carbides of tungsten and titanium, which are joined by means of cobalt. Sufficient hardness and reduction of sintered carbides brittleness is achieved if the individual carbide particles do not exceed the size of a few μm . Increasing cobalt content increases the bending strength and reduces hardness. Hardness (without reduction of toughness) can be further increased by the application of hard coatings on sintered carbide plates [61], [62].

Metal and ceramic friction materials are sintered heterogeneous materials for clutches and brake lining for very efficient means of transport (aircraft, trams), machines, and transportation mechanisms. For these, conventionally used non-metallic friction materials are not suitable, as high friction coefficient is necessary at high temperature, good heat conductivity (for conducting heat generated by friction). [61], [62].

13.2. Composite materials with ceramic matrix

New kinds of ceramic materials have been developed. Those are called “third-generation materials” and are used e.g. in mechanical engineering, electrical engineering, and electronics.

There are two groups of ceramic materials:

- Monolithic ceramic materials,
- Composite materials.

13.3. Monolithic ceramic materials

The basic element of these materials are aluminium oxides, silicones, and inorganic materials of various types. Along with the development of these materials, new technologies of their production and processing were also developed. New ceramic materials are referred to as *structural ceramics*, which is produced from refined or synthetic raw materials. For processing of raw materials, special chemical processes and mineral and technical treatment are used.

Structural ceramics has specific properties that enable to use it:

- In the areas with prioritized **electrical and mechanical properties**, i.e. in electronics and heavy current electrical engineering.
- As a **cutting material**. Sintered aluminium oxides, silicon ceramics, and zirconium-aluminium ceramics are more advantageous for cutting than tungsten carbides.
- for components working at **high temperatures**, where especially the ceramics stability at the temperatures up to 1 300° C is used. Ceramics is used e.g. for turbine engines blades, rotor covers, vents and their hoists in combustion engines.

13.4. Ceramic composite materials

Their properties are obtained by a suitable arrangement of their structure – filler matrix and fibres. They have higher strength and hardness than other materials. This is achieved by reinforcement by *fibres* and *whiskers*. While polymer composites can be used only at temperatures not exceeding 300° C and in the case of metal composites 600° C, ceramic composite materials are stable even at much higher temperatures.

There are two types of preparation of ceramic composite materials:

- Powder processing of the basic material and infiltration of fibres strands suspensions. They are reinforced by fibres or whiskers, compacting is ensured by hot pressing;
- Chemical processes – thermal decomposition, reaction binding, and chemical infiltration technology. High working temperatures are not required. Chemical processes are slow compared to the previous ones.

Ceramic composites are produced using technologies similar to metal composites. Surface coating of fibres is used in order to achieve the proper phase boundary between a fibre and filling [61], [62].

13.5. Carbon fibres composites

The starting raw material for production of carbon fibres are three materials:

- cellulose – created fibres have imperfect structure, they are used as insulation material at high temperatures.
- polyacrylonitrile (PAN) – standard fibres, since 1980
- pitch, a costly method of fibres production, whose final price is very favourable considering the low price of the starting material. It has a high value of the E-modulus and very good thermal and electrical properties. Their compressive strength is significantly lower compared to the standard fibres, since the bonds between the individual graphite layers are reduced. They have relatively small market share, HM (with high flexibility) fibres, HT (with high strength) fibres are used for special purposes.

In general, the production of composite fibres ranks among more advanced production technologies. Currently, the most frequently used method of production is fibres pyrolysis by PAN. They are stretched after heating in order to achieve the required orientation of molecules. Subsequently, carbonization stabilization is required for up to 10 hours at the temperatures of 220-230°C. The next step includes stretching the fibres in an inert atmosphere at temperatures of 1000-1500°C and the carbonization continues. Such fibres are referred to as HS fibres (high strength). When heating temperature exceeds 2500°C in an inert atmosphere, graphitisation causes the formation of a structure similar to graphite. Such fibres are referred to as HM (high modulus) fibre.

Currently, it is possible to adjust the fibres according to the customer. These include e.g. high-modulus graphite fibres, hollow fibres, fibres with high modulus of flexibility or nanofibers [59], [60], [61], [62].

Figure 1 shows the overview of carbon fibres utility properties

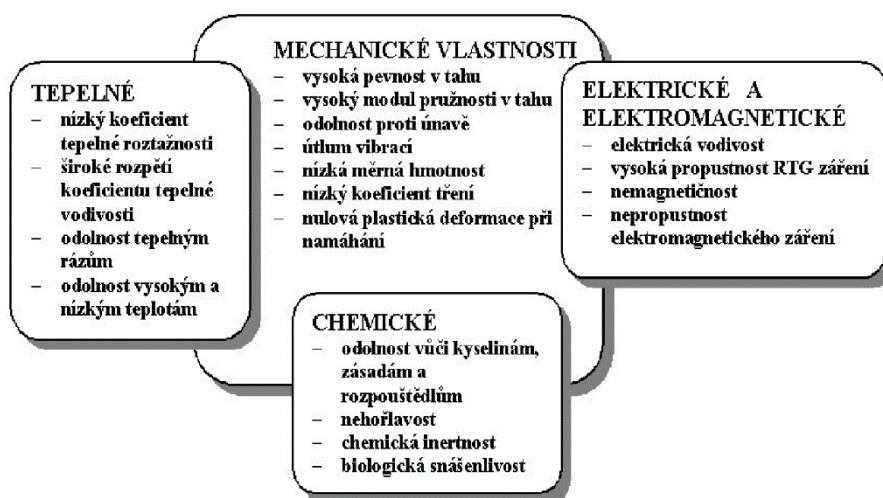


Figure 1 Properties of carbon fibres and composites [60]

Legend: tepelné vlastnosti (thermal properties): nízký koeficient tepelné roztažnosti (low thermal expansion coefficient), široké rozpětí koeficientu rázů (wide range of coefficient of restitution), odolnost vůči vysokým a nízkým teplotám (resistance to high and low temperatures)

Mechanické vlastnosti (mechanical properties): vysoká pevnost v tahu (high tensile strength), vysoký modul pružnosti v tahu (high tensile flexibility modulus), odolnost proti únavě (fatigue resistance), útlum vibrací (vibration attenuation), nízká měrná hmotnost (low specific weight), nízký koeficient tření (low friction coefficient), nulová plastická deformace při namáhání (zero plastic deformation at stress)

Elektrické a elektromagnetické (electrical and electromagnetic): elektrická vodivost (electric conductivity), vysoká propustnost RTG záření (high X-ray transmittance), nemagnetičnost (non-magnetic), nepropustnost elektromagnetického záření (non-transmittance of electromagnetic radiation),

Chemické (chemical): Odolnost vůči kyselinám, zásadám a rozpouštědlům (resistance to acid, bases, and solvents), nehořlavé (inflammable), chemická inertnost (chemical inertness), biologická snášenlivost (biocompatibility)

Fibres produced by graphitization create strands that are coiled onto roving. Coils are then placed on a loom where fabric is made.

By increasing the number of fibres in the warp, various types of fibres crossings are created. These are called bindings [59], [60], [61], [62]. The advantage of fabrics compared to unidirectional reinforcement is its easy processing. Figure 2 shows the classification of fibre composites on a schematic diagram from geometric perspective.

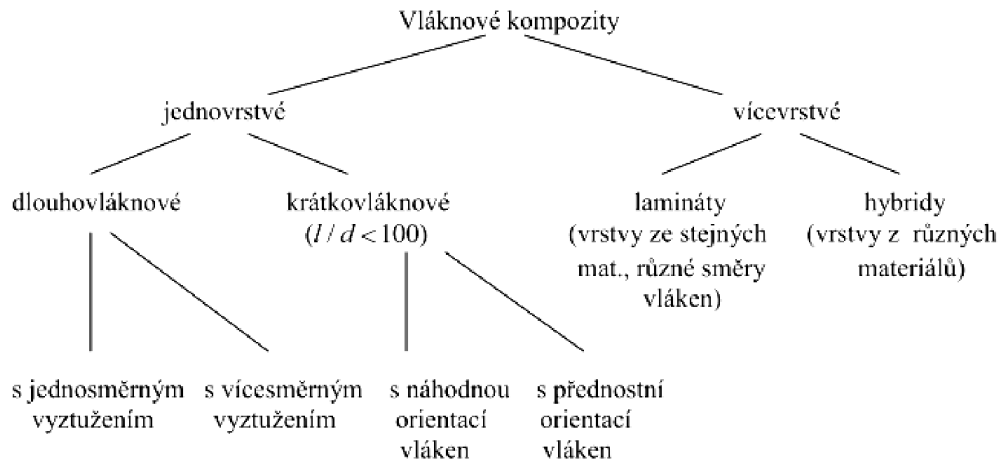


Figure 2 Classification of fibre composites from geometric perspective [61]

Legend: vláknové kompozity – fibre composites, jednovrstvé – single layer, vícevrstvé - multilayer, dlouhovláknové – long fibre, krátkovláknové – short fibre, s jednosměrným vyztužením – with unidirectional reinforcement, s vícesměrným vyztužením – with multidirectional reinforcement, s náhodnou orientací vláken – with random fibre orientation, lamináty - laminates (layers of the same materials, with different fibre orientation), hybrids (layers of different materials)

MACHINE OPERATION AND MAINTENANCE

1. Basic terms

Maintenance – combination of all technical, administrative and management activities during the lifecycle of a subject, aimed at keeping it or restoring it in the state where it is capable of performing the required function.

Maintenance strategy – management method used to achieve the goals of maintenance.

Maintenance goals – ensure such a regime of tangible assets care that would provide a realistic objective overview and helps to improve an overall effectiveness of the machines, solves the machines and equipment maintenance problems including their impact on the productivity.

Maintenance philosophy and strategy – system and principle of organizing and performing maintenance. It is based on seeing maintenance as a corporate problem that under optimal conditions ensures the operation of machines and facilities by means of a set of activities.

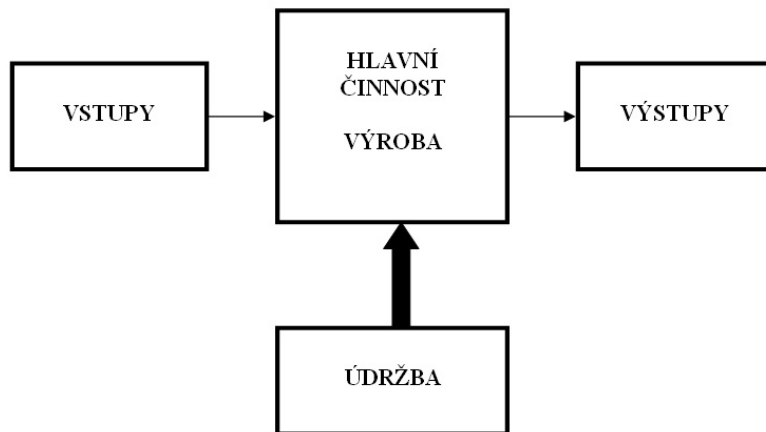
Maintenance concept – description of relations between the place where maintenance is performed, the degree of division of the object and the degree of maintenance that shall be used for the object maintenance.

Sustainability – the ability of the object to remain in the state in which the required function could be carried out if maintenance is performed in the given conditions and given procedures and sources are used.

Maintenance provision – the ability of maintenance team to ensure maintenance at required time or within required time period at a place where the maintenance work is required.

Ensuring maintenance – this includes sources, service and management necessary for operating maintenance system.

Function of maintenance in production process



Legend: vstup – input, hlavní činnost – main activity, výroba – production, výstup – output, údržba – maintenance

Basic general maintenance requirements:

Procedural approach – functionality and competence at optimal costs is more efficient when managing maintenance as a process.

System approach – efficiency and effectiveness of maintenance is improved by managing interrelated processes.

Maintenance management – maintenance top management needs to promote and create the environment in line with the overall production management strategy and concept.

Involvement of all workers – maintenance is an issue for the whole staff, not only for the maintenance workers.

Change in thinking and attitudes – in understanding and perceiving maintenance as an approach to increase qualification from the maintenance work perspective.

Decision-making based on facts – data analysis with a pre-defined certainty and their application in information systems operating in real time necessary for making a decision.

Continuous improvement – improvement of maintenance processes in terms of technology and organization.

Promoting good supplier relationships – to solve maintenance by means of centralisation and integration into production (autonomous maintenance) and separation (external maintenance).

3 P principle

- **PREVENTION** – performing maintenance at the right time – in advance
- **PROACTIVITY** – looking for causes of breakdowns
- **PRODUCTIVITY** – set up maintenance work so that the production is not affected

2. Requirements and ensuring operational reliability, maintenance theory

Operational reliability

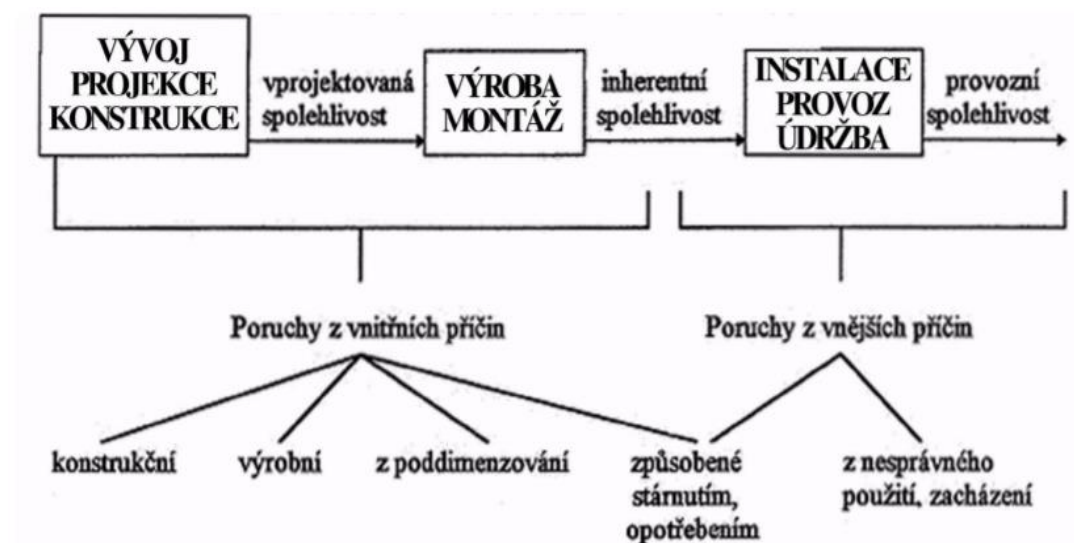
“A product (machine) characteristic property that enables to perform specified functions within the allowable tolerance under given operational conditions and required operation time.” Its main properties include: functionality, safety, reliability, maintainability, preparedness.

Ensuring operational reliability has to be seen as a system problem of solving all inter-linked processes and activities in context.

Operational reliability and technical life of object

It can be said that ensuring operational reliability is a part of technical life of each object. Operational unreliability can start at the very beginning of the technical life of the object.

The course of technical life: it refers to assigning reliability and failures to the basic division of the object life cycle:

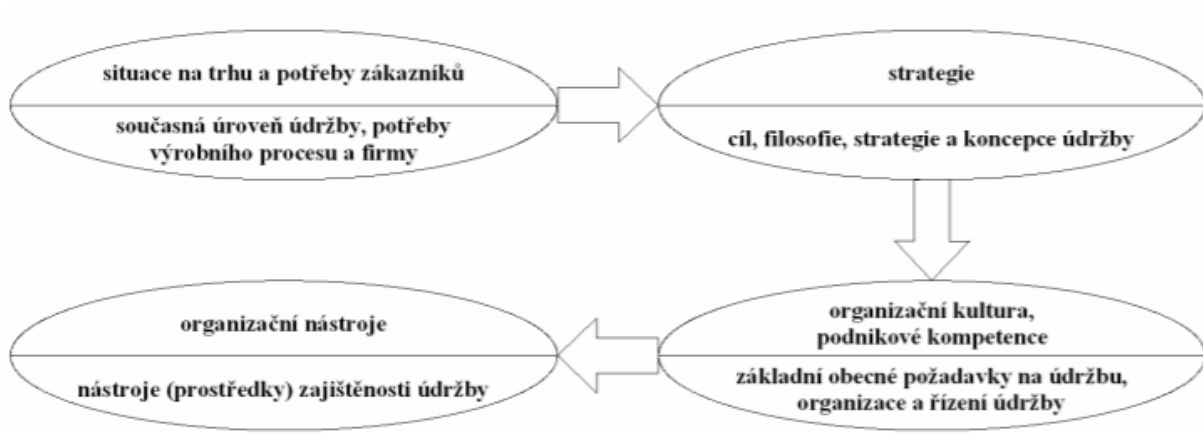


Legend: vprojektovaná spolehlivost - designed reliability, výroba/montáž - production/assembly, inherentní spolehlivost - inherent reliability, instalace/provoz/údržba - installation/operation/maintenance, provozní spolehlivost - operational reliability, poruchy z vnitřních příčin internally caused failures, poruchy z vnějších příčin - externally caused failures, konstrukční - construction, výrobní - production, z poddimenzování - undersize, způsobené stárnutím / opotřebením - caused by aging / wear, z nesprávného použití/zacházení - improper use / handling

The picture clearly indicates what the term operational reliability means. It is the most important stage of a machine technical life, since the machine becomes a means of production = it creates a value. Obviously, there is an operational reliability monitoring feedback, which leads to an innovative reconstruction of unreliable construction hub or its parts.

Operational reliability requirements

If we want to meet the need for a system approach to maintenance as a means of ensuring operational reliability, such procedures and processes must be used that enable to achieve the objectives, strategies and concepts (see the following figure).



3.Evaluation of maintenance effectiveness

Maintenance costs are necessary for restoration of the production facility original function; therefore it is necessary to deal with the maintenances economic efficiency and evaluation.

- Problems that has to be solved:
 - Maintenance costs x minimizing the downtime (machine inactivity)
- The ratio between costs and expenses is not clear
 - direct (easy to calculate – spare parts, lubricants, ...)
 - difficult to evaluate the influence the maintenance has on failures, deterioration of quality, losses, ...

Effective and productive operation means:

1. benefits for the facility / machine
2. benefits for people (service staff)
3. benefits for machine operation

For the actual costs, it holds true that 7/8 of the costs are hidden or hard to identify. This is clearly shown in the DIAGRAM (so-called iceberg cost model).



Legend: Snadno měřitelné – easy to measure, nízký vliv na zisk – small impact on profit. Obtížně měřitelné – hard to measure, vysoký vliv na zisk – high impact on profit, náklady na mzdy, materiál, náhradní díly, externí služby údržby – wage, material, spare parts, external maintenance service costs, výměna nástrojů, seřizování – replacement of tools,

adjustments, poruchy – failures, dostupnost – availability, chod naprázdno a kratší odstávky – idling and short downtime, chod při snížené rychlosti – operation at lower speed, míra výkonnosti – level of performance, zmetky, přepracovaná výroba – rejects, reworked products, ztráty při nájedzu zařízení – losses at commencement of operation, míra kvality – level of quality, pozdní dodávky – late deliveries, špatný image podniku – bad image of company, neefektivní využívání kvalifikace – inefficient use of qualified staff, nízká pružnost – low flexibility

Overall effectiveness of equipment

OEE – level of utilisation x level of performance x level of quality

OEE – „Overall Equipment Effectiveness“

Level of availability utilisation – losses due to failures, reconstructions, settings and adjustment

Level of utilisation =
$$\frac{\text{Possible operation time} - \text{downtime}}{\text{Possible operation time}}$$

Level of performance – losses due to unused downtime, reduced speed and short closures.

Level of performance =
$$\frac{\text{number of products produced} \times \text{TAKT (ideal cycle)}}{\text{Possible operation time} - \text{downtime}}$$

Level of quality – losses due to rejects, commencement of production, reworks.

Level of quality =
$$\frac{\text{number of products produced} - \text{rejects} - \text{more work}}{\text{Number of products produced}}$$

OEE =
$$\frac{\text{number of quality products} \times \text{ideal cycle}}{\text{Possible operation time}}$$

OEE improvement by 1 % corresponds to 5-20 % of maintenance costs!

Comprehensive methods of maintenance evaluation:

- Overall maintenance efficiency
 - Maintenance efficiency index
 - Maintenance indicators curve
 - Maintenance audit
- Maintenance risks (assessment methods)
 - FME/FMECA –failure mode analysis / failure mode, effects and criticality

- FTA – fault tree analysis
- ETA – event tree analysis

4. Maintenance risks

Danger – ability of the object to cause a negative phenomenon / situation

Threat – possible activation of danger

Risk – acceptable form of given activity (awareness of potential danger and its scope)

Fault tree analysis FTA – process

- Defining of fault analysed, identification of possible causes and type
- Development of top level into low level phenomena (causes of superior event are sought)
- Description of faults causes (what, where, how, why)
- Carrying out analyses in order to:
 - Make list of combination of possible types and causes of faults
 - Probability with which the situation may occur

Event tree analysis ETA – process

- Reverse process to FTA: the effects of components state on the whole system are sought
- Often used as a FTA complement

Risk factors in maintenance

- Maintenance risk is a product of fault occurrence probability and effect
- Fault occurrence probability value:

$$P_i = \frac{n_i}{H \cdot N - Pr}$$

- P_i – hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy
- n_i – počet oprav i-té kategorie důležitosti daného uzlu
- H – počet hodin práce za den
- N – počet dní v roce
- Pr – prostoj daného uzlu v dané kategorii důležitosti

Legend: hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy – failure occurrence probability value, počet oprav i-té kategorie důležitosti daného uzlu – number of repairs for i-th level of the given hub importance, počet hodin práce za den – number

of work hours per day, počet dní v roce – number of days per year, prostoj daného uzlu v dané kategorii důležitosti – downtime of the given hub in the given importance level

- Consequence of failure

$$D_i = \frac{m \cdot c + U_i}{H \cdot N}$$

- D_i – důsledek vzniku poruchy
- m – množství výrobků za rok na daném uzlu
- c – cena výrobku
- H – počet hodin práce za den
- N – počet dní v roce
- U_i – celkové roční náklady na údržbu daného uzlu

Legend: důsledek vzniku poruchy – consequence of failure, množství výrobků za rok na daném uzlu – number of products per year for the given hub, cena výrobku – product price, počet hodin práce za den – number of work hours per day, počet dní v roce – number of days per year, celkové roční náklady na údržbu daného uzlu – total annual costs of the given hub maintenance

- Maintenance risk is a product of failure occurrence probability and its consequence

$$R_i = D_i \cdot P_i$$

- R_i – hodnota rizika údržby
- D_i – důsledek vzniku poruchy
- P_i – hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy

Legend: hodnota rizika údržby – risk maintenance value, důsledek vzniku poruchy – failure occurrence consequence, hodnota pravděpodobnosti vzniku poruchy – failure occurrence probability value

5. Maintenance audit

It refers to checking of the implemented organizational unit management system and identification of possible non-compliance with the relevant standards, documentation, etc.

Classification:

- System audit
- Process audit
- Operation audit

Maintenance audit includes:

- Maintenance benchmarking
- Maintenance outsourcing
- Locators study of maintenance
- Management maintenance quality
- Risk analysis
- Quantification of operational reliability

Benchmarking

It is a continuous and systematic process of comparing and measuring products, processes and methods of the organization with those of the organizations that have been chosen as suitable for the purposes of defining the objective to improve own activities.

General procedure of benchmarking

- Determining of items for comparison
- Determining of who to compare with
- Gathering of data on process performance and customer needs
- Comparing of processes and identification of possible quality improvements

Benchmarking objectives:

- Saving costs
- Increasing customers satisfaction
- Understanding world-class performance
- Better decision-making
- Setting more demanding objectives
- Speeding up the process of change

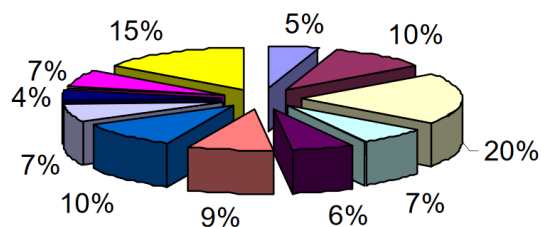
Outsourcing - outside resource using

- Using outside resources
- Ensuring operations that are not key competences of the company audited

Outsourcing objectives:

- Performing selected activities and tasks faster, more safely and more economically
- Reducing the number of own workers
- Concentration of own sources on key competences

Jaké služby se outsourcují?

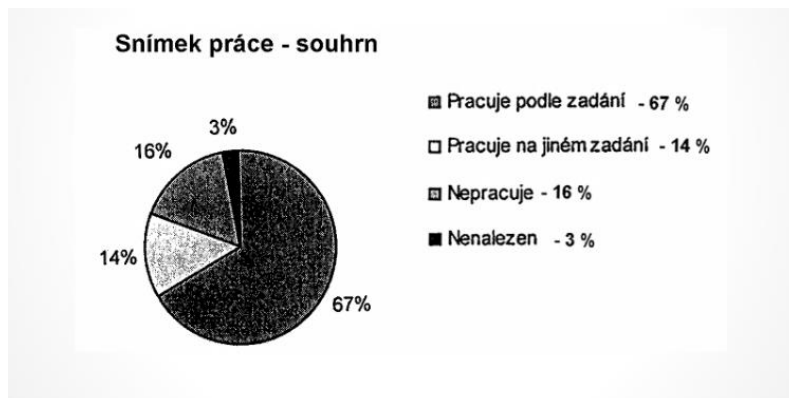


Doprava	Nemovitosti	Informační technologie
Výroba	Marketing a prodej	Human Resources
Distribuce a logistika	Finance	Management
Služby zákazníkům	Administrativa	

Legend: Jaké služby se outsourcují? – Services outsourced. Doprava – transport, výroba – production, distribuce a logistika – distribution and logistics, služby zákazníkům – customers service, nemovitosti – real estates, marketing a prodej – marketing and sales, finance – finance. Administrativa – administration, informační technologie – information technologies, human resources, management

Locators study of maintenance

- Study of maintenance staff utilisation
- The study shows the actual work load and utilisation during work hours



Legend: snímek práce – souhrn – overview of work load, pracuje podle zadání – work corresponding to assignment, pracuje na jiném zadání – work not corresponding to assignment, nepracuje – not working, nenalezen – not found

Risk analysis

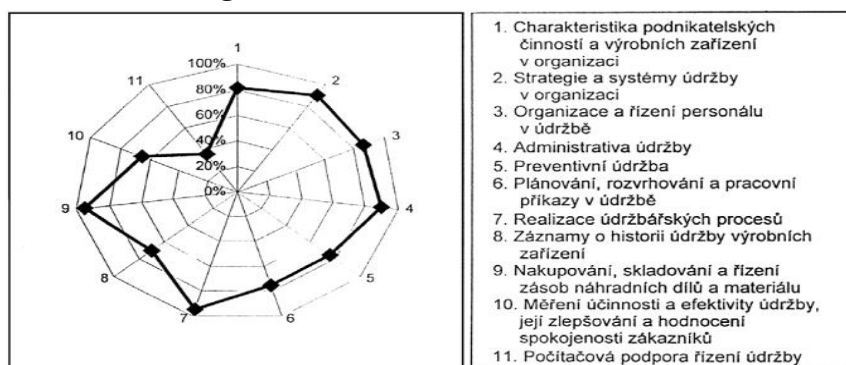
Identifies the probability of accident and its consequences by means of the following methods: FMEA, FMECA, FTA, ETA, HAZOP, etc.

Quantification of operational reliability

Mathematical base of reliability quantification is the number of probabilities and mathematical statistics. These tools are necessary for the description and analysis of random phenomena and processes corresponding to the failure and renewal processes.

Maintenance management quality

It is basically the quantification of a response to 11 types of issues, which are entered in so-called radial diagram.



Legend: Charakteristika podnikatelských činností a výrobních zařízení v organizaci – characteristics of entrepreneurship activities and production equipment in organization. 2. Strategie a systémy údržby v organizaci – strategies and systems of maintenance in organization, 3. Organizace a řízení personálu v údržbě – organization and management of maintenance staff, 4. Administrativa údržby – maintenance administration, 5. Preventivní údržba – preventive maintenance, 6. Plánování, rozvrhování a pracovní příkazy v údržbě – Planning, scheduling and work orders in maintenance, 7. Realizace údržbářských procesů – Realization of maintenance processes, 8. Záznamy o historii údržby výrobních zařízení – records on history of production equipment maintenance, 9. Nakupování, skladování a řízení zásob náhradních dílů a materiálu – Purchasing, storage and management of spare parts and material, 10. Měření účinnosti a efektivity údržby, její zlepšování a hodnocení spokojenosti zákazníků – measuring efficiency and effectivity of maintenance, its improvement and assess-

ment of customer satisfaction, 11. Počítačová podpora řízení údržby – IT support of maintenance management

6. Reliability management

Reliability – According to ČSN 010102, reliability is defined as: *“general property of the object consisting in the ability to fulfil the functions required while preserving the values of established indicators within given limits and time in accordance with the established technical conditions.”*

This definition is completed by several explanatory notes:

- Reliability is a complex property which may include e.g. trouble-free operation, lifespan, sustainability and storability, either separately or combined.
- Technical conditions refer to the specifications of technical properties required for the specific function of the object, types of operation, storage, transport, maintenance and repairs.
- Operational parameters are indicators of productivity, speed, electrical energy and fuel consumption, etc.

Reliability management tools

- Reliability plan
- Reliability program
- Reliability methods
- Reliability tests
- Reliability standards
- Training and qualifications improvement in the area of reliability

Need for reliability management

- All company departments are involved in ensuring reliability, by performing activities that must be in specified order and at specified time and extent. For this reason, these activities must be coordinated so that the customer required reliability is achieved from the initial reliability level.
- Reliability management is performed in accordance with the system applicable for individual company departments through different tasks (number, difficulty), power and responsibilities
- Reliability management refers mainly to coordination of all activities and operations related to create and ensuring reliability in accordance with standards and other legislation related to reliability.
- It refers mainly to ensuring reliability in the longest operational stage.

- Reliability need to be paid great attention to.
- The more complicated the equipment is, the less favourable conditions and the more serious consequences resulting from unreliability there are, the higher is the need or even necessity to manage the operation of the equipment, that is, to purposefully act upon ensuring the reliability.

Reliability in individual stages of product life cycle

- Reliability disciplines are applied in all product life cycles; life cycle can be defined in accordance with the standard CSN EN 13306 Maintenance – Maintenance terminology
- Specifically, it refers to:
 - Concept (specification) of requirements for equipment, its performance, reliability and life span – so called specified reliability
 - Design and development of the equipment parameters, conditions of trouble-free operation and maintainability, so-called reliability “design”.
 - Implementation (production) – demand, choice and installation of the equipment – we work with so called inherent reliability.
 - Operation and maintenance – testing equipment and its installation into operation; due to various conditions at various customers it is referred to as “operational reliability”
- Disposal – disposing of a non-functioning or disused machine

Bathtub curve

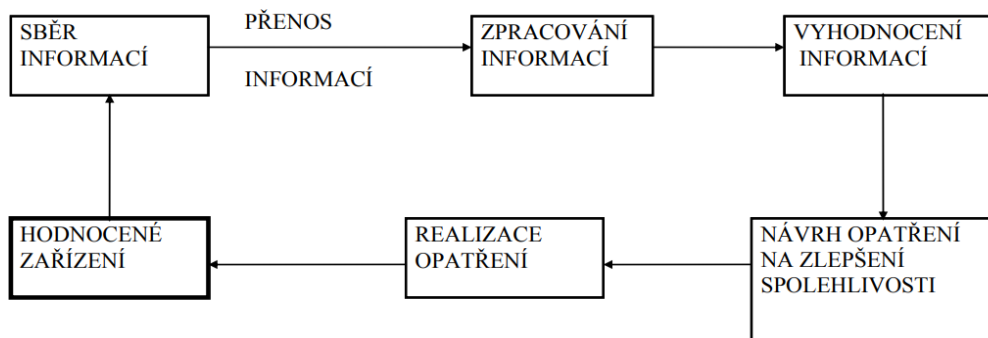
There are more ways to divide the life cycle of equipment, one of them being the bathtub curve, which divides the life cycle into three stages.



- Stage I – a period of frequent failures. It is characteristic with a sharp decrease in failure rate. High failure rate at the beginning is caused by the machine running-in, during which malfunctions due to manufacturing, assembling or design errors.
- Stage II – a period of normal operation. It refers to a long period called a period of normal utilisation. The equipment is used for its original purpose with more or less constant occurrence of about 26 failures. These are mostly due to external causes, there is no wear affecting the properties of the equipment.
- Stage III – a period of wear-out. The failure rate increases due to material ageing and wear. After exceeding the acceptable failure rate the equipment is put out of operation and disposed of.

Feedback

- An important part of reliability management is feedback
- Feedback enables the departments ensuring the operation to be aware of:
 - The difference between the required and actual reliability
 - Reasons for such a difference

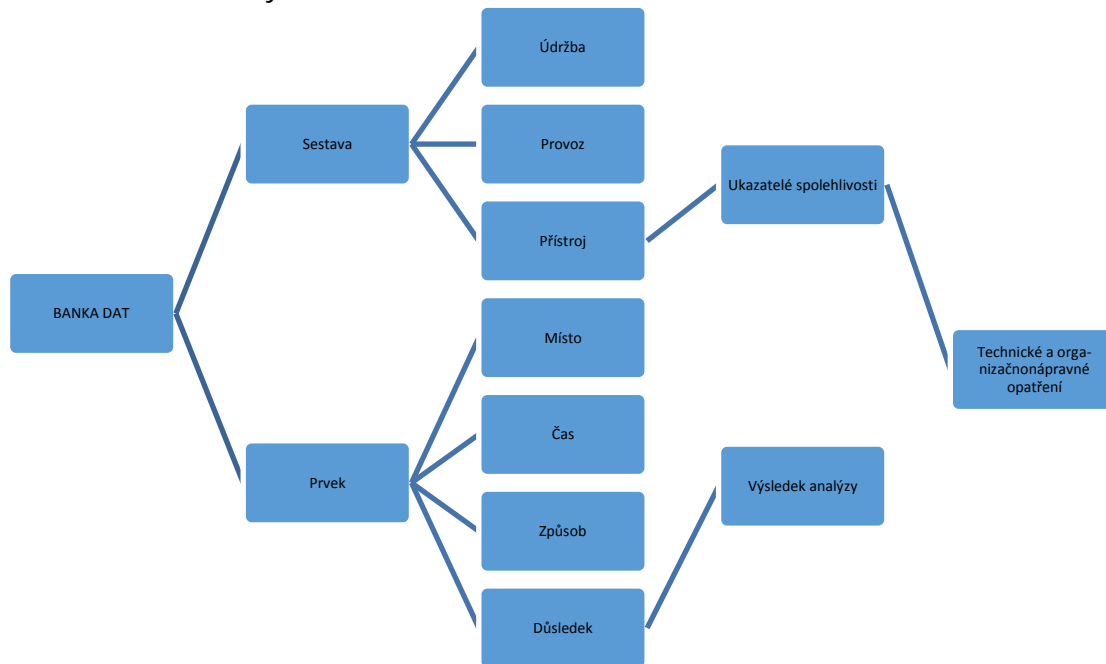


Legend: sběr informací - collecting information, přenos informací - transmission of information, zpracování informací - processing information, vyhodnocení informací - evaluation, návrh opatření na zlepšení spolehlivosti - proposing measures to improve reliability, realizace opatření - implementation of measures, hodnocené zařízení - equipment / device assessed

Background information for reliability management

- Important part:

- Analysis of reliability
- Reliability data bank



Legend: banka dat - data bank, sestava - assembly, prvek - element, údržba - maintenance, provoz - operation, přístroj - device, místo - location, čas - time, způsob - method, důsledek - consequence, ukazatelé spolehlivosti - indicators of reliability, výsledek analýzy - result of analysis, technické a organizačně správné opatření - technical and organizationally proper measures

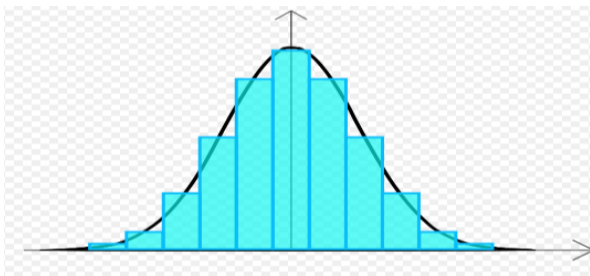
7. Reliability management methods

Important methods of reliability analysis and deficiencies diagnosis within the reliability management include the following:

- Histogram
- Trend
- Pareto chart
- Ishikawa diagram

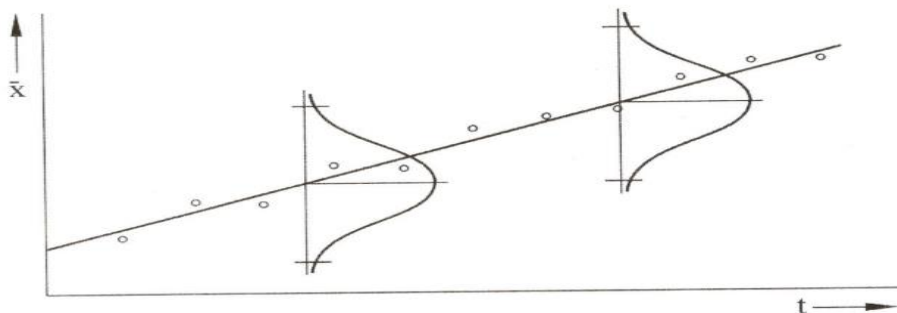
Histogram

Histogram is a graph illustration of data distribution by means of a bar chart with the bins of the same width expressing the intervals (classes), while their height represents the frequency of the variable monitored in the given interval.



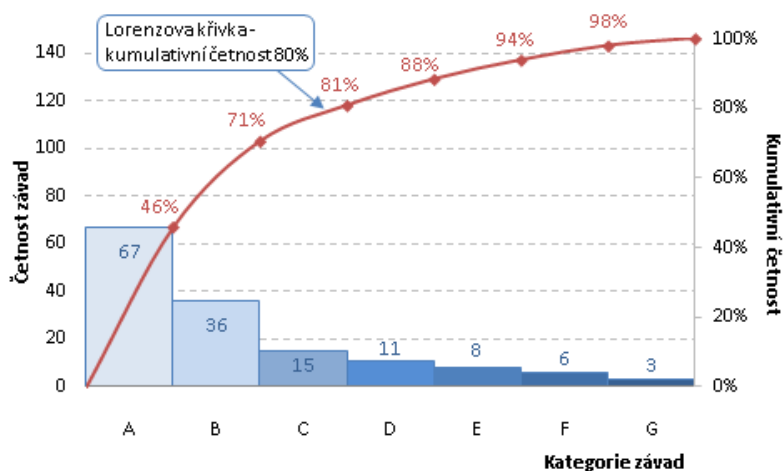
Trend

Shows the development of reliability indicators over time



Pareto chart

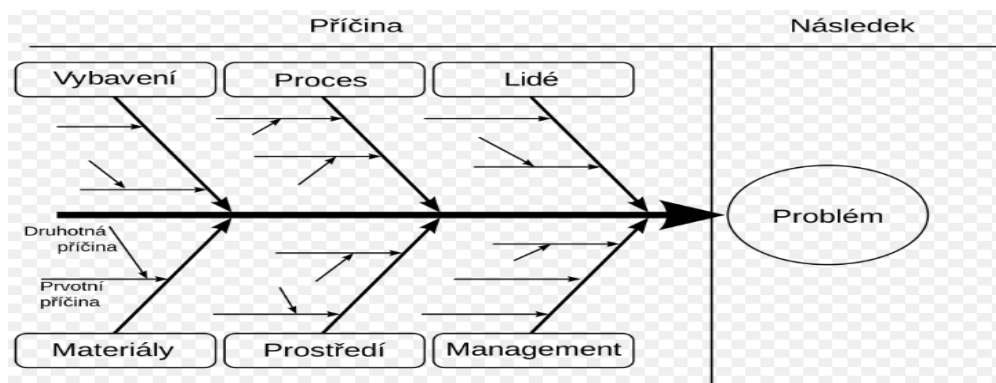
- Pareto chart, named after Vilfredo Pareto, is a combination of a bar and line graph, where the bins representing the rate for individual categories are ordered by size (the highest bin being on the left, the lowest one on the right) and the line represents the cumulative rate percentage. Pareto chart is used for showing the importance of the individual categories.
- Pareto chart shall be used when analysing the process failure rate, where the failures can be caused by many factors and it is important to identify the most significant ones. When creating Pareto chart it is necessary to determine the categories to be shown, the variables to measure and the period to be monitored.



Legend: kumulativní četnost - cumulative frequency, kategorie závad - category of defects

Ishikawa diagram

- It is the Cause and Effect diagram
- It solves the issue of identifying the probable cause of a problem
- Ishikawa diagram is one of the seven basic tools of quality improvement



Legend: příčina - cause, vybavení - equipment, proces - process, lidé - people, následek - consequence, problém - problem, druhotná příčina - secondary cause, prvotní příčina - primary cause, materiály - materials, prostředí - environment

8. Reliability testing and test plans

Reliability testing aims to obtain the information from which the reliability indicators are derived based on examining the equipment during the reliability test.

Reliability tests classification

- By the specific property the reliability test is aimed
- By decision how the equipment showing failures during the reliability test will be dealt with
- By the reliability tests results
- By a specific test purpose
- By the place where the reliability test is carried out
- By the stage of product creation

By the specific property the reliability test is aimed, the test are further divided into tests of:

- Trouble free operation
- life span
- maintainability
- reparability
- storage life
- standby

By decision how the equipment showing failures during the reliability test will be dealt with:

- without renewal – when a failure appears, operational capability of the equipment is not restored and the test continues with a lower number of elements tested
- with renewal – operational capability of the equipment is renewed by means of repair or replacement

By the reliability tests results:

- shortened tests – they are finished before a failure of all tested equipment occurs
- accelerated – those are carried out in tightened functional and external conditions, that it under conditions that normal do not occur in normal operation

By a specific test purpose:

- determining – identifies the value of reliability indicators for the given equipment
- verifying – the reliability indicators value is compared with the prescribed or required value

By the place where the reliability test is carried out:

- laboratory tests – they are carried out under specified laboratory conditions
- simulation tests – these are carried out in laboratories if such conditions imitate operational conditions
- field tests – they are carried out in determined operational conditions
- test operation – these are carried out in conditions that correspond to real operation

By the stage of the product creation:

- development tests
- production tests

A reliability tests planning describes a set of main activities performed in the chronological order. It includes:

- Description of the required function the equipment has to fulfill
- Determining measurement method which will be used during the testing in order to detect possible failures occurrence
- Specification and ensuring suitable measuring and registration procedures for continuous monitoring and recording the operation conditions in which the equipment has to operate during the test
- Determining a critical failure, that is, the limits of individual measured parameters or other features characterizing the function of the equipment tested and when exceeded, the equipment is considered faulty
- Determining the testing plan

Testing plans

Testing plan is a set of rules that have to be followed when obtaining data for estimating reliability indicators.

Testing plan is marked by a combination of three symbols: n – number of pieces equipment tested, $U/R/M$ – replacement or renewal of faulty components / elements, r - – if the test is finished at occurrence of the r -th failure or t - – if the test is finished after the period t .

Example:

$[n, U, n]$ – n objects are monitored. Faulty objects are not renewed or replaced. Monitoring is finished when the number of failures is n .

$[n, U, t]$ – n objects are monitored. Faulty objects are not renewed or replaced. Monitoring is finished after the period t .

Testing methodology

It contains mainly expert information and technical documentation for the test:

- Type of test, name
- Purpose of test, binding, validity
- List of tested and assessed parameters
- Qualitative parameters values
- Test procedure
- List of testing equipment, devices and tools
- A diagram of testing equipment connecting
- Specification of products and their components for which the methodology is suitable
- Algorithms, mathematical methods and relations for testing evaluation
- Software for testing evaluation and test report printing
- Accuracy of testing method and corresponding veracity of the test result
- Heading for the table for test data collection
- Test conditions
- Specification of test conditions
- Load of working environment parameters
- Number of pieces tested
- Duration of the test
- Testing cycle
- Results evaluation criteria
- Limiting conditions
- Name of the organization and the author of the methodology, responsible em-

- ployee and signature
- List of standards, regulations and documents based on which the testing methodology has been prepared

9. Modelling and quantification of system reliability

Systems reliability

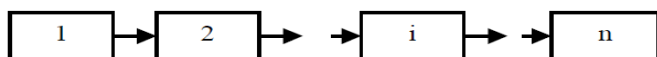
Reliability can be seen as the ability of the system (a product, component, machine, software, etc.) to perform the required function. High system reliability is required especially for the systems that run critical applications or even human life. System reliability is influenced by its components and their connection into the system. System reliability also changes according to the operational conditions in which the system works. An example is aviation equipment, which is repeatedly subjected to dynamic changes in its ambient during the flight. From mathematical point of view, reliability is defined as probability that the system operation during the given time and under given operational conditions will be adequate to the system purpose.

Reliability models

- Serial model of reliability
- Parallel model of reliability
- Combined serial-parallel system

Serial model of reliability

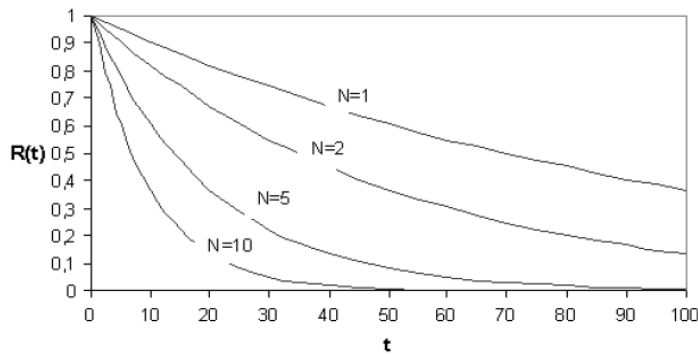
Serial system refers to connecting elements in a series (consecutively), where a failure of any element causes the whole system failure. The block diagram is shown in Figure 4.1. The blocks in connection correspond to individual elements. Between the input and output, there is only one connection passing through all blocks. This system can be also displayed by the graph in the picture.



Obr. 4.1 Blokové schéma sériového systému.

Figure 4.1 - Block diagram of serial system

Průběhy $R(t)$ pro sériové spojení jsou pro různý počet prvků uvedeny na obr. 15.



Obr. 15 Průběh $R(t)$ pro sériově spojené prvky

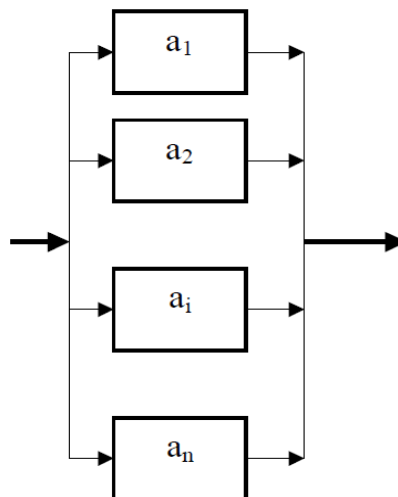
Courses $R(t)$ for serial connection for different number of elements - see Figure 15

Figure 15: course $R(t)$ for serial connection

Parallel model of reliability

Parallel system is the connection of n-number elements in parallels (next to each other). A system failure occurs if there is a failure of all elements. The block diagram and oriented graph of a parallel system are shown in the figure.

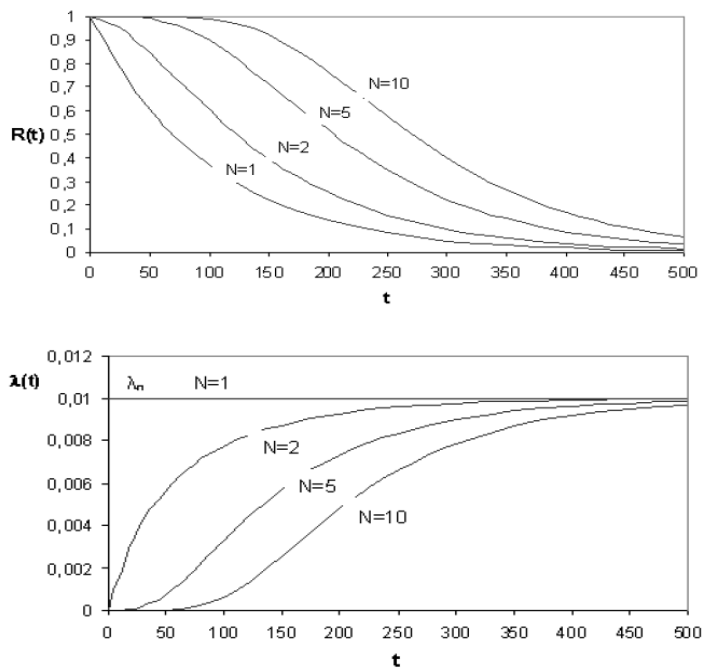
To ensure a trouble-free operation, one fully operational element is sufficient. Such a connection can be called redundant or backup, and it is also very often used just for the purpose of backup.



Obr. 4.3. Blokové schéma paralelního systému

Figure 4.3 Block diagram of parallel system

Průběhy pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ pro různý počet paralelně zapojených prvků s exponenciálním rozdělením dob do poruchy jsou vyneseny na obr. 17.

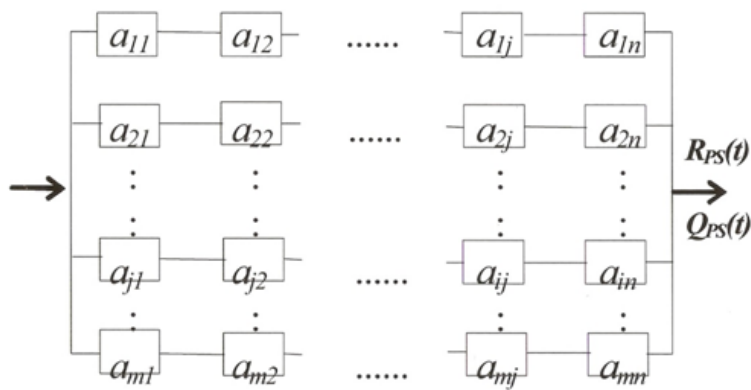


Obr. 17 Průběh $R(t)$ a $\lambda(t)$ pro různé hodnoty počtu paralelně zapojených prvků

Figure 17: Course $R(t)$ and $\lambda(t)$ for different values of elements connected in parallel
Combined serial-parallel system

It is a combination of serial and parallel connecting of elements in a reliability block diagram. The calculation of individual reliability indicators is carried out by gradual simplification of individual serial and parallel connections up to complete simplification.

When solving the problem, it is necessary to deal with the individual parallel elements and serial chains gradually, while the procedure of the methodology for multiplication of the failure or reliability probability must not be changed. Conversion from one parameter to another is carried out by subtracting from 1.



Comparing $R_{ps}(t)$ and $R_{sp}(t)$

- With the same values of R_{ij} and the same dimensions of the system m, n the value of the $R_{sp}(t)$ is always higher than the $R_{ps}(t)$ due to the fact that in serial-parallel system there are always more paths from the input to the output.
- Serial-parallel system describes a backup of each element separately, while in the parallel-serial system, always the whole sub-system is backed up.

10. Machine performance

Machine performance must be monitored regularly. For performance monitoring, there are three possible methods.

The first method consists in a semi-automatic performance monitoring, when the input data are entered automatically if it is possible. The data is collected electronically. However, the data is still partly collected manually by authorised personnel. The collected data are then processed and evaluated by a competent employee. For these purposes, information technology is used in the form of computers, and data is stored on a disc that is shared and to which other workers have access or the data is sent directly.

The input data for calculations can be collected manually, and the calculations are also carried out manually, using paper forms, and evaluated manually as well. The data are usually presented only a few times a year on a selected site in the company. A disadvantage of such a method is a dependence on the human factor, inaccuracy, frequent data failures due to various reasons and the related unreliability.

The method when the machine performance data are collected automatically consists in equipping both the machines and the workplaces with terminals where data are collected automatically after product passing the line. At control workplaces workers enter the date into the computer. The data are then gathered in the information system. In this case, the possibility of human error is negligible and the data show high reliability and accuracy. The results of such processes are appreciated. Certain disadvantage of this data collection method is high purchase price; on the other hand, the costs of daily data collection are almost zero.

Electric power

Machine performance varies but a basis of every machine is a source of power, e.g. a servo motor, electric motor and other sources of power. In terms of mechanical engineering, it can be said that machine performance is determined by electrical sources, especially in the case of machine tools and other machines used in mechanical engineering. This electrical machine performance is called rated power. Rated power must be determined by the producer. When determining rated power, the producer must choose one of the rated power classes. The indication of the class must be given after the rated power. If there is no indication, the rated power for permanent load applies. Rated power can be divided into four classes for four types of power source. For DC generators, it is a rated power measurable on the terminals. Another source is an AC generator, where the apparent power is measured at terminals and is expressed in volt-ampere, while in the case of DC generator the power is given in watts. One of the most widely used machine power sources are electric motors, where the rated power is mechanical power at the shaft of the motor, expressed in watts. The fourth type, which is

not that widely used, but it is worth mentioning, are synchronous compensators, where the rated power is reactive power at the terminals and is given in reactive voltamperes.

Rated power classes

Rated power for permanent load

Rated power at which the machine can work for an unlimited period of time while at the same time complying with the requirements.

This rated power class corresponds to the load S1 and is referred to as rated power for load S1.

Rated power for short operation

Rated power at which the machine can work for a limited period of time, starting at ambient temperature, while at the same time complying with the requirements. This rated power class corresponds to the load S2 and is referred to as rated power for load S2.

Rated power for periodical load

Rated power at which the machine can work in work cycles while meeting the requirements.

This rated power class corresponds to one of the periodical load S3 – S8 and is referred to as rated power for the relevant load type. If not specified otherwise, the length of the work cycle must be 10 minutes.

Rated power for discontinuous constant load and revolutions

Rated power at which the machine can work with relevant load and revolutions of the load type S10 for an unlimited period of time while meeting the requirements. When determining the maximum allowable load during one cycle, it is necessary to take into consideration all machine components, e.g. insulation system with regard to the exponential rule for relative expected thermal lifetime, the bearing with regard to temperature, and other components with regard to thermal expansion. If the maximum workload is not specified in other relevant IEC standards, it must not exceed 1.15 times the load resulting from load type S1. Minimum load can be zero, while the machine idles or is disconnected and does not work. This rated power class corresponds to the load S10 and is referred to as rated power for load type S10.

Rated power for equivalent load

Rated power for test purposes at which the machine can work under constant load till reaching a steady state temperature and at which the same warming of the stator winding as the average warming during the work cycle with the specified type of load.

A machine designed for a general use must have a rated power for permanent load and must be capable of working under load type S1. If the load has not been specified by the customer, the load type S1 is used and the assigned rated power must be the rated power for permanent load. If the machine was designed for a rated power for a short operation, the load type must be S2. If the machine was designed for changing load or for load including idle operation or disconnection, the rated power must be the rated power for periodical load resulting from the selected load type S3 – S8. If the machine is designed for non-periodical changeable load with changing revolutions including overload, the rated power must be the rated power for non-periodical load resulting from load type S9. If the machine is designed for discontinuous constant load including idle operation or overload, the rated power must be the rated power with discontinuous constant load resulting from load type S10.

Sx are types of load specified in the standards.

11. Machine tool performance and operation

Machine tool performance has an increasing decisive influence on production efficiency and product quality. Today customers are looking for machine tool producer who would meet their high performance requirements. Being competitive on the world market means to be able to produce machine tools with high speed and accuracy. Similarly, more reliable and energy efficient machines and components are required. The operators require production with less demanding maintenance, low impact on the environment and low operating costs, which is what profitability depends on.

Machine work performance

Work performance Q of automated production lines is a performance achieved in actual operation. It is considered a basic one and consists in certain technologic, cycle and actual performance.

Technologic performance – refers to a number of workpieces machined by a given equipment per a time unit, while fully using the possibilities of the technological process.

Cycle performance – describes maximum performance when achieving all designed parameters at trouble-free operation. Determining the cycle performance results from the assumption that the automated line operates continuously without faults and downtime.

Actual performance – is given by work in real conditions, when it is necessary to consider both continuous operation and operation with downtime caused by tools replacement, adjusting, etc.

Individual interruptions in the operation of automated production lines are referred to as off-cycle losses. They can relate to tools (replacement, adjusting, etc.), to machines and their accessories (mechanism and control failures), technical and organizational, caused by the rejection rate, related to the changes of production programme. Even though all the machines of the production line have the same losses, the performance can be different due to the different structure of the line. The individual machines have downtime not only due to their own losses, but also due to other machines that do not fulfill their functions. Thus, additional losses occur, whose extent depends on the structure of the production line

Off-cycle losses consist of:

Expected own losses – e.g. start of the line operation before reaching the work temperature, change of the shift, planned maintenance, tools replacement, checking machine nodes, etc.

Random own losses – tool failures (breaking of blade), mechanisms failures of some of the machines in the line, rejects etc. Random own losses can be reduced by dividing the line into individual sections, between which storage reservoirs for workpieces are, so that in the case of accidental failure the whole line is not out of order, but only the part where the failure occurred and in which the individual machines are interconnected. This can reduce downtime, increase the performance and utilization of the line.

Machine performance is influenced by the following three basic areas of work cycle:

Automated work cycle, sequence of functions on the machine, clamping and handling with workpieces, manipulation with tools and measuring workpiece dimensions, position of tool blade.

For users, overall performance of a modular single purpose machine tool is important, determined by:

Required number of work-piece produced on a specified machine per certain period of time, machine shiftability.

Here, the overall performance is calculated as time required pro production of one workpiece using the specific machine:

$$tpc = (60 * Sp * H * Dd * \tau) / Nr$$

where: tpc – is maximum overall time for production of one workpiece

Sp – number of work shifts per 1 day

H – number of working hours per shift

Dd – number of working days in a year

τ – coefficient of machine utilisation (0.7 – 0.85)

Nr – required annual production (pieces).

Machine operation

Machine operation refers to the time when the machine is capable of full operation and thus produce a product or perform activities for which it is intended. Operational deployment of machines depends on regular and proper maintenance of the machines. Machines as such are designed so that they are ready for work immediately after turning on, including the initial setting of parameters.

Machine maintenance

General definition of maintenance: Maintenance is a combination of all technical, administrative and managerial activities during the life cycle of the object focused on keeping it or returning it to the state in which it is capable of performing the required task or function. The objective of the maintenance is to keep the production equipment in technically good and operational condition at optimal costs. Preparedness is a machine ability

to be in the state of performing the required function in given conditions, at a given moment of time or in a given time interval, provided that the necessary external resources are ensured. All this depends on reliability, maintainability and ensuring maintenance. Reliability or trouble-free operation is the machine ability to perform the required function in given conditions and in a given time interval. Maintainability is the machine ability to remain or to be restored in the state in which it is able to perform the required function under given conditions.

Proper machine maintenance principles

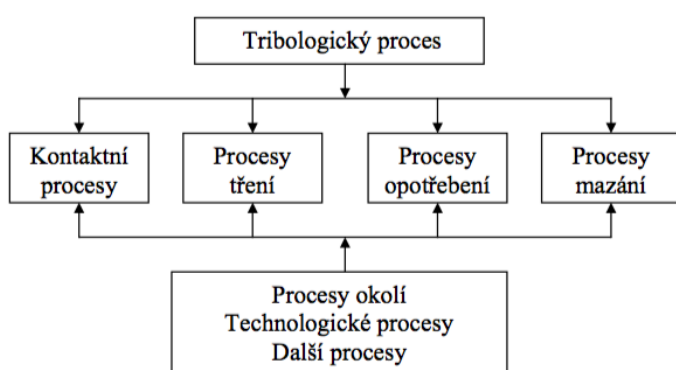
During the installation and handing over the new machine, the supplier should pass also the information and instructions regarding the regular maintenance of the machine, as well as the types and individual activities and functions of the machine, to the service staff or the responsible person.

Like any other performed activity, maintenance of machine tools shall adhere to the set rules and principles which include the following: Regular and efficient maintenance consisting in preparing a maintenance schedule and its strict adherence, keeping operating log for each machine, where every maintenance related activity shall be recorded. There should be also recorded every random or more serious error message. The records are then used by service technicians in order to identify and repair the individual faults, spare parts register kept as wear caused by the machine operation, mark and specify the individual functions of the machine, to provide a complex overview on service interventions being performed to individual machines and costs related to removing the defects, immediate removal of the defect detected, and in the case of necessary expert intervention, to contact service technician. The effectiveness of regular maintenance and control measurements has been demonstrated in several areas: increase in life span of the machine, ensuring machine accuracy in the long term, reducing the rejection rate, saving money, ensuring safety of work. The companies that already have applied regular and quality machine maintenance in their production facilities show considerable savings in costs related to machine repairs compared to the situation when the machine maintenance was not give adequate attention to. Nowadays they are able to prove that the initial investment is actually saving money. Lack of regular maintenance results in low machine operation.

12. Tribology and tribotechnics

Tribology is a discipline dealing with processes of friction, wear and lubrication

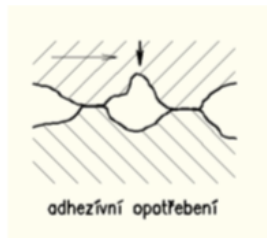
- Sliding, rolling, striking and oscillation
- Mechanical engineering – designing bearings, piston motors and other devices, machines and their components
- Cosmetics – lipsticks, conditioners, powders
- Medicine – joint replacements



Legend: tribologický proces – tribology process, kontaktní procesy – contact processes, procesy tření – friction, procesy opotřebenění – wear, procesy mazání – lubrication, procesy okolí – ambient processes, technologické procesy – technologic processes, další procesy – other processes

Wear

Adhesive wear – is characterized by separating and displacement of metal particles between two contact surfaces



Erosive wear – it takes place when particles contained in the flowing medium fall on the functional surface



Fatigue wear – is created by gradual accumulation of failures in the surface layer of the functional area



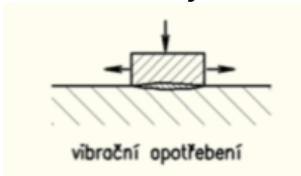
Abrasive wear – separating of material particles due to hard and rough surface



Cavitation wear – separating of material particles due to the cavitation of the flowing medium



Fretting – separating of material particles between two contacting surfaces due to mutual oscillatory movement



Tribotechnics

- One of the tribology disciplines dealing with the application of tribology results in practice
- Significantly contributes to a more efficient use of machines in industry

Tribotechnics deals with:

- Lubricants and lubricants testing
- Materials for friction pairs
- Calculation, construction and optimizing of friction pairs
- Lubrication methods and lubrication systems
- Scientific foundation for friction and wear
- Measuring and control methods for tribotechnic processes
- Special technological processes to increase the wear resistance
- Organizing lubrication technique in the operation

Economic importance

Using the proper application it is possible to achieve significant savings in a number of areas:

- Reducing the consumption of energy necessary to power the machines
- Increase in machines and devices lifespan
- Reduction of downtime caused by failures and necessary repairs
- Reduction of maintenance costs and costs of machine repairs
- Increase of machines accuracy
- Reduction of investment costs
- Reduction of costs necessary to purchase suitable lubricants

Lubricants

The main function of lubricants is:

- To reduce friction at the contact point of two objects
- To ensure heat removal
- To remove dirt from the friction surface
- To protect metal surface against corrosion
- To seal lubricated surfaces

There are various lubricants based on their types, properties and ability to perform the required function:

- Liquid lubricants (lubricating oil, cutting fluids)
- Plastic lubricants (greases)
- solid lubricants (e.g. graphite, MoS₂)
- gas lubricants (e.g. air).

SHEET METAL FORMING

1. Thermal treatment

1.1. Purpose and basic classification of thermal treatment methods

By proper use of metal and alloys properties, it is possible e.g. to reduce a machine or machinery weight, or to use cheaper materials. Both results in increasing the economy of production.

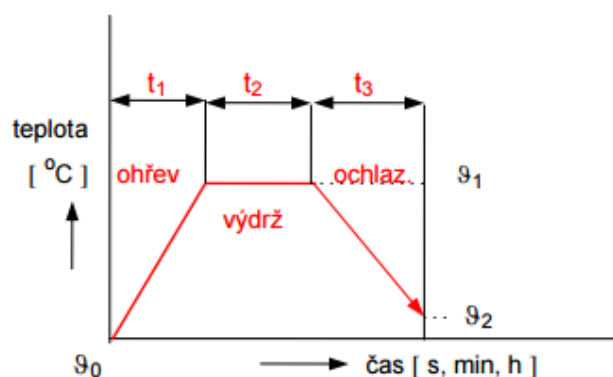
Thermal treatment includes all processes in which an object or material in its solid state is heated and cooled in a certain way in order to achieve desired properties.

It always includes the following processes:

- heating to a certain temperature
- maintaining this temperature
- cooling to a given temperature at certain speed

In some cases, these processes can be repeated several times under different conditions.

The cooling or heating speed is given at high speed in °C/s, at low speed in °C/min, or °C/h.



Legend: teplota – temperature, ohřev – heating, výdrž – maintaining the temperature, ochlaz. – cooling, čas – time

Although both speeds are not uniform (they depend on instantaneous temperature gradient), we mostly consider average speed, which is calculated as follows:

a) při ohřevu

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$$

b) při ochlazování

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{t_3}$$

kde: ϑ_0 je výchozí teplota před ohřevem

ϑ_1 je teplota ohřevu

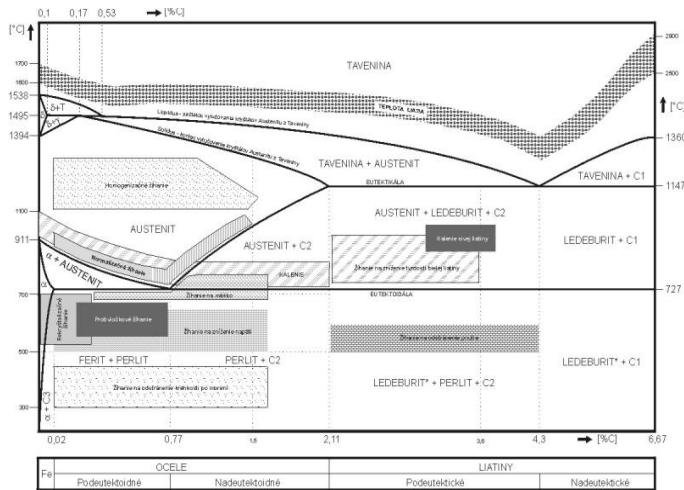
ϑ_2 je požadovaná teplota na konci ochlazování

Legend: při ohřevu – in heating, při ochlazování – in cooling, kde – where, výchozí teplota před ohřevem – starting temperature before heating, teplota ohřevu – heating temperature, požadovaná teplota na konci ochlazování – required temperature after cooling

Thermal treatment influences mechanical properties, such as strength, hardness, ductility, notch toughness, wear resistance, etc. In many cases, changes in structure occur; therefore knowledge of equilibrium diagrams and phase changes is required.

Since the equilibrium in phase changes in the solid state is completely determined by diffusion, for the result of thermal treatment it will be important what effect the diffusion will have. The course of diffusion is influenced both by temperature and the duration (period of time) at which the temperature is maintained. By the way of influencing diffusion, thermal treatment is divided into two basic groups:

- Thermal treatment methods enhancing the diffusion on hindering it just slightly. These methods are generally called annealing.
- Thermal treatment methods hindering significantly or stopping the diffusion completely. The non-equilibrium state of the alloy is generally the greater the higher the cooling speed is. The main method is quenching.



1.2. Annealing

The objective of annealing is mostly:

- To reduce residual stress,
- To eliminate the consequences of preceding mechanical processing,
- To improve technological properties (cold-forming, machining),
- To lower chemical and structural heterogeneity.

The decisive technological parameter of annealing is the temperature and the time at the temperature when cooling is very slow. The annealing temperatures of the individual procedures result from the equilibrium diagram of Fe-Fe₃C.

All types of annealing can be divided by the annealing temperature:

Annealing to reduce residual stress. The purpose is to reduce internal stress in the material during the casting solidification, cooling after cold and hot-forming, and in surface layers after chip machining. At the annealing temperature of 450 - 650 °C the yield strength is so low that the residual stress can be reduced by local plastic deformation. Depending on the size, shape and material, 2 - 10h remaining at the temperature with slow cooling is necessary to prevent new residual stress.

Recrystallization annealing

It mostly refers to intermediate annealing in cold-forming of low-carbon steel, which removes the hardening and regenerates malleability and ductility. This is done by means of its heating to the temperature of recrystallization (550 – 700 °C), with a duration of 1 – 5 hours. Using this method, it is possible to change significantly the shape and size of grain. The purpose of annealing is usually to refine the grain.

Soft annealing

The surface tension causes spheroidization of eutectoid carbide particles. By changing lamellar perlite to grain perlite, it is possible to improve cold-forming possibility in low-carbon steel and machining possibility in steel with the C content over 0.4 %. Also, annealing enables to prepare a suitable initial structure for subsequent quenching, especially in the case of eutectoid and over-eutectoid steel. The uniform distribution of granular carbides in basic ferritic mass facilitates the subsequent austenitization and improves the general properties after quenching, which is successfully used especially in the case of bearing steels. The annealing temperature is close to eutectoid temperature.

Increasing the temperature above A_{c1} or its fluctuation around this temperature facilitates and accelerates balling of carbide particles. The annealing time differs based on the type of the steel and on the previous heat treatment, ranging from 4 h for carbon steel to 16 h for high alloy steels. Annealing is finished by slow cooling in the furnace.

Anti-flake annealing

It is applied at supercritical hydrogen content in steel, when steel is susceptible to creation of internal cracks – flakes. Creation of flakes can be prevented by long-term heating (up to tens of hours) at the temperatures of 650 – 750 °C, where as the result of a significant increase of hydrogen diffusivity in ferrite, its content decreases under the critical value. Annealing must be performed immediately after casting or hot forming (before its cooling to the temperature of the ambient temperature), when the hydrogen present does not create molecules which are not capable of diffusion and thus of removing from steel. After remaining at the annealing temperature for a long time, it is advisable to cool to at least 500 °C very slowly.

Annealing to remove brittleness after pickling

When removing skimming by means of pickling, in steel components, there is diffusion of hydrogen in the metal and subsequently hydrogen fragility. Since during the pickling, hydrogen penetration into steel is limited, hydrogen can be easily removed by annealing at temperature between 300 °C and 500 °C for 1 - 4 h

Normalization

It is one of the most widely used methods of steel heat treatment, as it ensures fine-grained and even structure after casting, forming, or long-term annealing at high temperatures. The classical procedure is used only for sub-eutectoid steels, when at a temperature of 30 – 50 °C and duration of 1 – 4 hours, a fine uniform austenitic structure is formed that after cooling transforms into fine-grained ferritic-perlitic structure with favorable mechanical properties. Exceptionally, it is applied in the case of over-eutectoid steels in order to achieve a better re-distribution of secondary cementite particles that was removed at grain boundaries in the form of grids as a result of slow cooling. By heating to the temperature above A_{cm} , carbide meshes are dissolved in austenite and by its rapid cooling its repeated removing is prevented at grain boundaries.

Homogenizing annealing

It lowers non-homogeneity of the chemical composition of thick-walled castings in which significant dendritic segregation occurred. Long-term annealing at temperatures ranging from 1 100 to 1 200 °C (usually about 200 °C below solidus) causes sufficient diffusion speed of carbon and other elements to reduce segregation and unwanted heterogeneity. Remaining at the temperature depends on the size and thickness of the casting, usually resulting in a significant grain roughness, which requires subsequent normalization annealing.

Solution annealing

This type of annealing is used to dissolve carbides, nitrides and other inter-metallic phases, which increases the homogeneity of austenite and its saturation with alloying elements. It is most often used at high alloy austenite steels, where a pure austenite structure is obtained by annealing at temperatures of 1 050 - 1 150 °C with subsequent fast cooling that prevents repeated elimination of phases.

Isothermal annealing

By combining three types of annealing (normalization, soft, reducing internal stress) in one operation, it is possible to achieve more homogeneous fine-grained structure with improved machining. The process starts with normalization, after which the steel is cooled by a stream of air to the temperature of 700 - 650 °C, at which in isothermal delay the splitting of metastable austenite into fine spheroidized perlite occurs. Remaining at the temperature results from the knowledge of the IRA diagram for the relevant steel class. Finally, it is cooled by the air. The process is suitable for some kinds of medium-alloy steel that are difficult to soft anneal.

1.3. Quenching

The objective of quenching is to improve the hardness, strength and wear-resistance of steel. These properties are typical for partly or entirely non-equilibrium structures which can be obtained by cooling austenite at overcritical speed. Depending on the phase prevailing in the resulting structures, there is martensitic or bainitic quenching.

An important process parameter is the quenching temperature, at which steel is austenitised before cooling. The proper quenching temperature for sub-eutectoid steels is about 30 - 50 °C over AC_3 , where it ensures the homogeneous structure of austenite before decomposition. For super-eutectoid steels, the adequate temperature is only about 20 °C above AC_1 , where the initial structure consists of a heterogeneous structure of austenite and undissolved carbides that increase the wear-resistance after quenching. Improper quenching temperature results in increasing unwanted phases in the final structure (ferrite) or to thickening of grain, which may result in quenching cracks.

Quenchability is steel ability to achieve unbalanced state by austenitizing temperature lowering.

Quenching ability is determined by its maximum hardness after quenching; it depends on the carbon content in austenite. The resulting hardness is also affected by the quenching temperature, especially in the case of super-eutectoid steels.

Types of quenching

- **Basic quenching** is the simplest process. The temperature decreases steadily under M_S , when the austenite transformation into martensite starts. *High residual stress and maximum deformations arise, therefore this type is not suitable for quenching products of complex shape.*
- **Discontinuous quenching** starts with supercritical speed in order to support perlitic transformation (e.g. in water) and continuous with cooling in moderate ambient (e.g. oil). This way the difference between the temperature on the surface and inside the product as well as thermal stress is reduced.
- **Isothermal quenching** is similar to thermal quenching, with the dwelling time in the bainitic transformation lasts until isothermal austenite decomposition is finished. Thermal and structural stress is minimal, there is no risk of deformation and cracks. The oldest isothermal quenching method is patenting used for production of high-strength wires.
- **Thermal quenching** enables to balance temperatures in the whole volume of the product quenched. It reduces the stress and deformation due to dwelling over the M_S temperature. Cooling in the interval of martensitic transformation usually takes place in the air. The process is suitable for thin-walled steel products of complex shapes, whose bainitic area is shifted on the left.
- **Grain quenching by freezing** requires additional cooling in liquid nitrogen freezing baths that should prevent the stabilization of RA (residual austenite) for steels with low M_S and M_f temperatures. It is applied to the products working at temperatures below zero, measurement tools, and bearing steel, where the shape stability is required.

- **Continuous bainitic quenching** is used for steels with bainitic area on the left. The resulting composition consists of bainite, martensite and residual austenite.

1.4. Tempering

Tempering is a steel heat treatment method usually following quenching. By heating quenched steel to temperatures not exceeding AC1, martensite decomposition and transformation of residual austenite occurs. The changes of structure and resulting changes of mechanical properties depend mainly on the tempering temperature. From technology point of view, we distinguish between:

- Tempering at low temperatures (to 300 - 350 °C), which lowers the residual stress after quenching, reduces the RA content and stabilizes dimensions.
- Tempering at higher temperatures (above 450 °C), at which a complete decomposition of martensite occurs, which is shown by marked decrease of hardness and strength, but also by increase in plasticity and toughness.

2. Sheet metal shearing technologies

2.1. Sheet Metal Forming Technology – Shearing

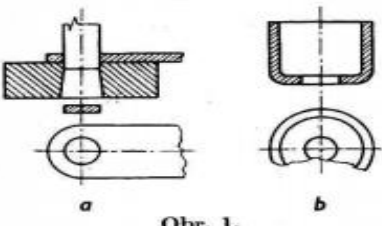
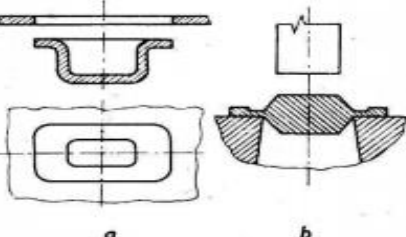
Shearing is the most widely used forming operations.

It is used for:

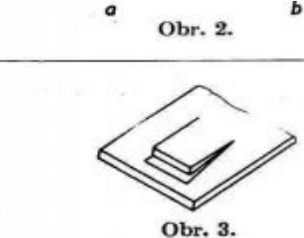

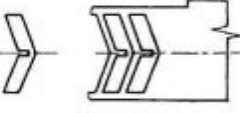
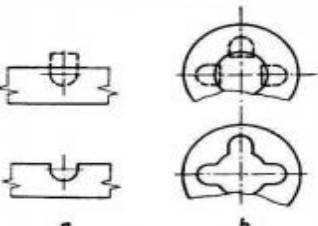
- Preparation of semi-finished products (shearing sheets or coils, profiles shearing, flat shapes, etc.)
- Shearing sheet metal components either for the purposes of end use or for other technology products (bending, extrusion, drawing, etc.)
- Finishing or ancillary operations, including:
 - punching,
 - blanking,
 - trimming,
 - roll slitting, etc.

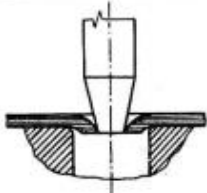
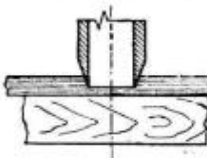
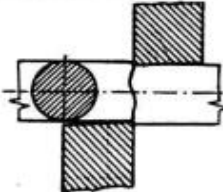
By the process temperature, we distinguish two types of shearing:

- cold shearing – for soft steels (maximum strength 400 MPa) or for sheets,
- hot shearing – for harder and thicker materials, heating to 700 °C

Operace	Schéma	Definice
děrování	 <p style="text-align: center;">a b Obr. 1.</p>	Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad.
ostřihování	 <p style="text-align: center;">a b Obr. 2.</p>	Oddělování přebytečného materiálu po obvodu součástí.

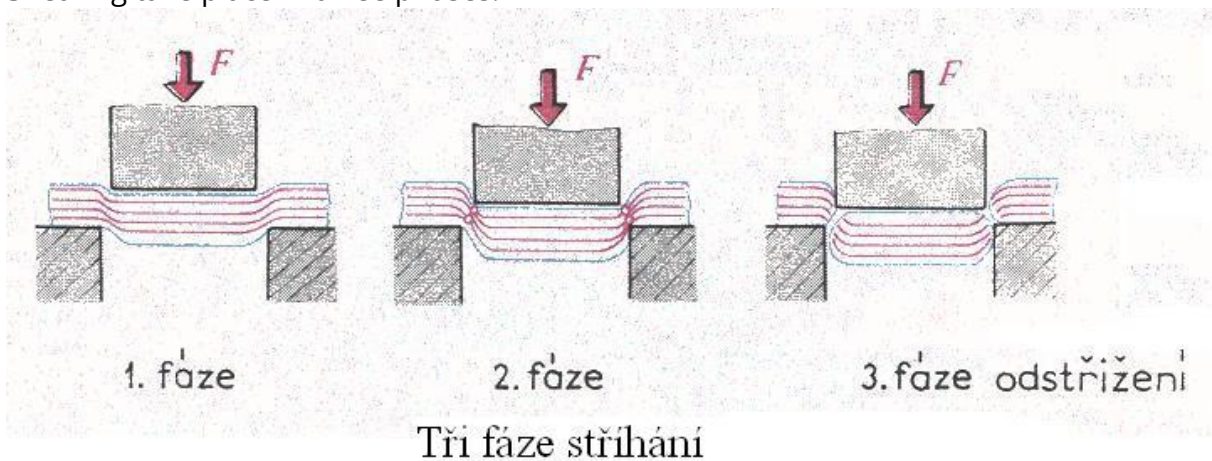
plošné

Stříhání plošné	 <p style="text-align: center;">a b Obr. 2.</p>	
	 <p style="text-align: center;">Obr. 3.</p>	Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.
	 <p style="text-align: center;">Obr. 4.</p>	Zhotovení výstřžku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část tvoří výrobek.
vystřihování zářezu	 <p style="text-align: center;">a b Obr. 5.</p>	Oddělování části v okraji i uvnitř materiálu. Vystřižená část tvoří odpad.

	protrhávání	 Obr. 9.	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
	vysekávání	 Obr. 10.	Oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.
Stříhání objemové	stříhání profilů, tyčí, trubek apod.	 Obr. 11.	Dělení profilů, tyčí a trubek podle neuzavřeného obrysu noží, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného průřezu.

2.2. Shearing Principle

Shearing is separating a part of material by acting of opposing shearing edges causing sliding shearing stress in shearing plane. Shearing principle is shown in the picture. Shearing take place in three phases:



Legend: 1. fáze - first phase, 2. fáze - 2nd phase, 3. fáze odstřížení - 3rd phase cut-off, 3 fáze stříhání - three phases of shearing

The first phase is a phase of elastic deformations, when the material is compressed,

bent and pressed into the die hole.

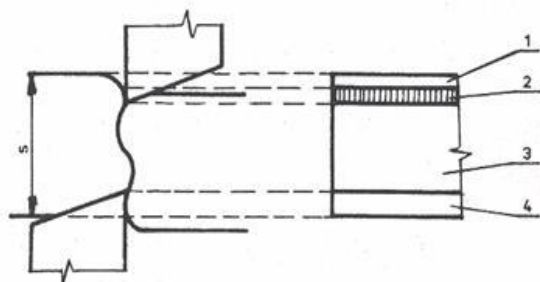
The second phase is the phase of plastic deformations. The punch is pressed into the sheet, this is pressed in the die hole and the stress exceeds the yield strength and approaches the ultimate strength on the edge of punch and die.

In the third phase, cracks appear at the edges, they spread until the material is ripped.

The shearing is separated before the punch passes through the thickness of the material shear and the shearing is subsequently extruded. Due to this, the edges of the shear surfaces are not completely planar and the shear has certain roughness which is not evenly distributed in the area.

The places where the first cracks appeared are rougher than the other shear areas. However, the material is not separated exactly in the required plane since the material is elastic, and the stress causes the pressure across the entire area. This is how we distinguish between the individual zones on the shear area.

Shearing is thus the only forming operation that results in desired material disruption. When calculating the forming forces, this is reflected by using strength limits instead of yield strength.



Deformation zones in shearing
1 - curvature (elastic deformation), 2 - tearing zone, 3 - shear zone (plastic deformation), 4 - pushing zone

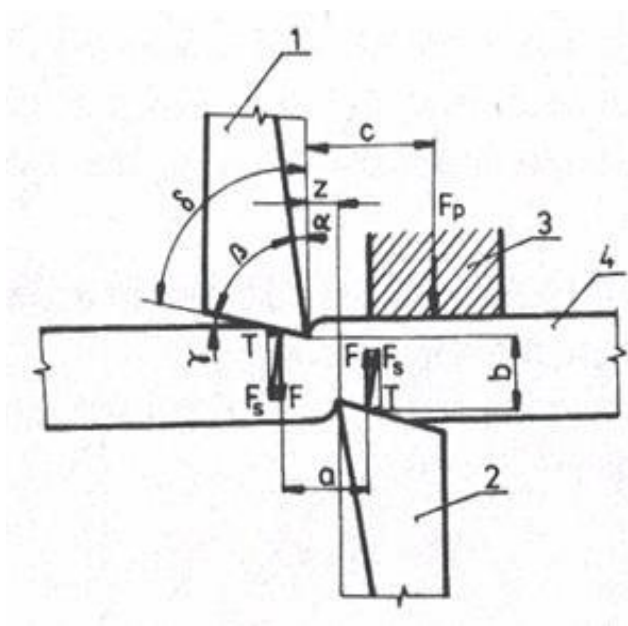
2.3. Calculation of Force and Labour for Parallel Blades

Due to the gap between the punch and die, in the actual process, shearing forces do not act ideally in a single plane, where the shearing force F_s decomposes into friction (T) and normal (F), which causes bending moments as well as individual zones in the final product or semi-finished.

The moment $M_p = F \cdot a$ acts to rotate the material, which can be prevented by using retainer, while the heeling moment $M_T = T \cdot b$ can be reduced by increasing the rake angle γ .

The retainer force can be calculated as $F \cdot a = F_p \cdot c$, where a is 1.5 - 2 times the shear gap size (denoted as z).

The force component T acts to move the blades apart and they are bent (risk of their breaking)



*Principle and force acting in the case of shearing with parallel blades
1 - upper movable blade, 2 - lower immovable blade, 3 - retainer, 4 - material sheared*

The magnitude of shear forces in shearing with parallel blades is calculated as follows:

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_s$$

Where

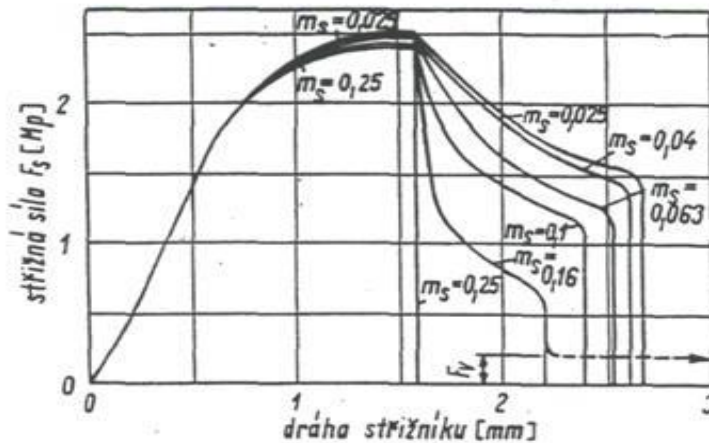
s ... thickness of sheet [mm],

O ... shearing circumference [mm],

τ_s ... shear stress, shear strength - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa],

S ... cross-section area in shearing plane

$$- S = O \cdot s \text{ [mm}^2\text{]}.$$



Course of shearing force in shearing with parallel blades; example of shear gap influence on the course of shearing force F and magnitude of labor A

Legend: dráha střížníku - movement of punch, střížná síla - shearing force

Since shear stress, shear strength are the values depending on the degree of the average pressure of the blade into the material, the formula will not be valid for the whole shearing process, but the shear force will vary from the zero value to certain maximum and back to zero, which depends mainly on the material thickness, and partly also on the shear gap.

Actual shearing process does not produce pure shear but combined stress making the

blades blunt; therefore, the actual shearing force is increased by 10 - 30 %. Shearing will be equal to the plane below the curve and will depend on the shear gap.

$$A = F_s \cdot k \cdot z$$

Where

*K ... is the coefficient of the space underneath the curve
z ... stroke [mm].*

2.4. Calculation of strength and labor for skewed blades

For calculation of shearing force and labor, analogous formula is applied related to a triangle area:

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot s \cdot b \cdot \tau_s = (1,1, 1,3) \cdot s^2 \cdot \tau_s / \operatorname{tg} \varphi$$

Where

s ... sheet thickness [mm],

b ... shear length - $b = a / \operatorname{tg} j$ [mm],

φ ... shearing angle, blade bevel angle (2 - 6° for guillotine shears, 7 - 20° for lever shears)

τ_s ... shear stress - $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa].

$$A = F_s \cdot k \cdot z = F_s \cdot k \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Where

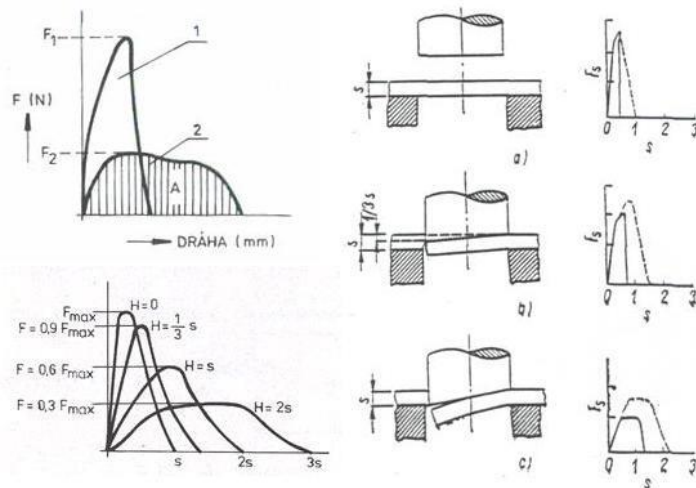
K ... coefficient of the space underneath the curve

z ... stroke [m].

The calculated force remains constant if the blade stroke reaches the full material thickness. The magnitude of shear force decreases when the blades are finishing the stroke until reaching zero. The necessary labor magnitude is calculated and equals to the area below the curve.

When comparing the magnitude of shear force and labor for shearing using parallel and skew blades it is obvious that shearing with skew blades is more advantageous, since for the same sheet thickness and shear length, much lower force is necessary than when using parallel blades; however, the length of the shear is much longer. Lowering shear

force significantly reduces blade strokes.



Comparing the shear force and labor magnitude force when using parallel and skew blades (upper left) and influence of bevel angle on the force and labor magnitude course (bottom left) showing the course for bevel 0, $1/3 H$ a $H = s$ (on the right – solid line is for normal shear, hatched line for precise shearing)

2.5. Classification of Shearing

By blades design, we distinguish between several types of shearing:

- shearing with parallel blades,
- shearing with skew blades
- shearing with disc blades,
- blades for shearing profiles and bars.

Shearing with parallel blades

The tool used for shearing with parallel blades consists of a punch and a die, between which a clearance or shear gap is m_s ($1/2$ of shear clearance), as it is not possible to construct a tool without a gap due to an accident risk. To achieve a quality chip, an optimal clearance between a punch and a die is necessary. Clearance on one side is usually between 3 and 10 % of the sheet thickness depending on the thickness and strength of the material (clearance increases with the strength).

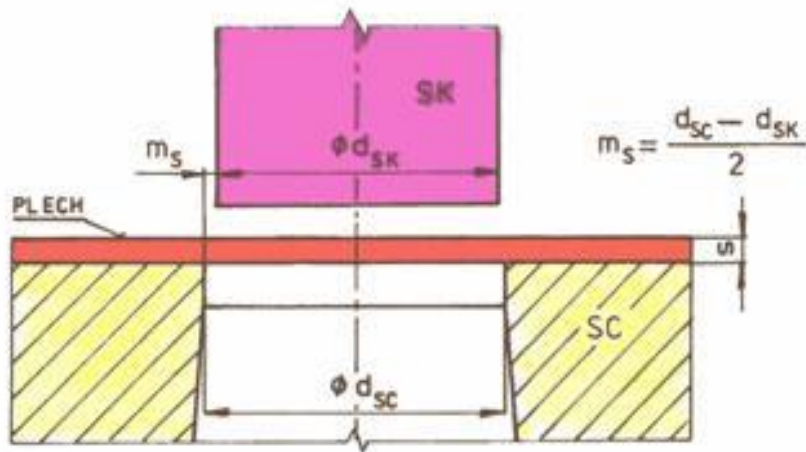
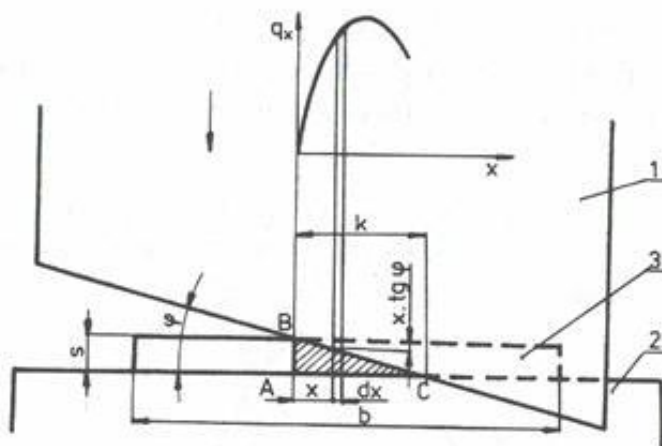


Diagram of shearing using shearing tool (SK - punch, SC - die)

Shearing with skew blades

Shearing with skew blades which make a certain angle is suitable as it reduces the overall necessary shear force compared to shearing with parallel blades.

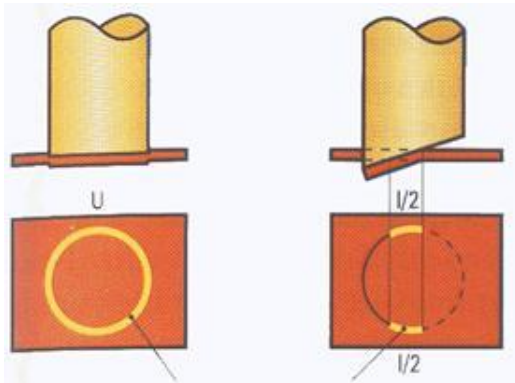
The material is sheared gradually. For the magnitude of the shear force the most important factor is the size of the shear edge and thickness - triangle area.



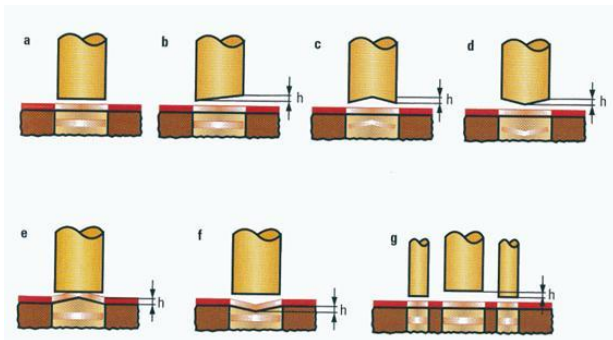
Shearing with skew blades (1 - upper movable blade, 2 - lower immovable blade, 3 - sheared material)

As in the case of a simple straight shearing, the course of the immediate force can be

controlled, even though the total labor exerted to shearing does not decrease. In the case of instruments, shearing tools consisting of die and shear pin used for two most widely used shearing methods, that is, punching and blanking, this could be done in two ways:



Comparison of shear length for shearing with parallel or skewed blades



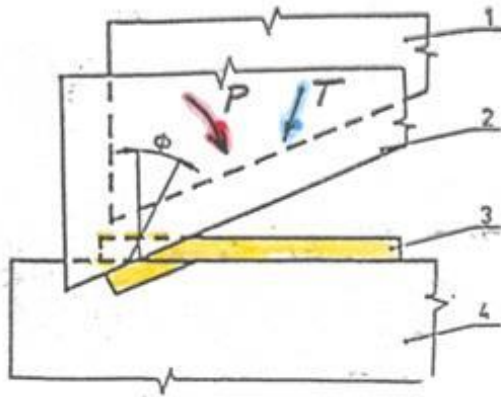
Shear pin and die modifications (a – straight shear, b – unilateral shear pin bevel, c, d – bilateral shear pin bevel, e, f – die bevel, g – stepped arrangement of shear pin)

Shear blades with beveled edges are used when we want to reduce the shear force that is greater than the press force. In the case of blanking, bevel is bilateral on the die – the product is straight, while the waste is bent. Bilateral bevel balances the forces on the shear pin and does not deviate from the axis. Unilateral bevel is used only for notching. For punching, the die is straight and shear pin is beveled, product is straight and waste is bent. When shearing complex shapes, edge bevel is not recommended.

Oblique shear includes lever shears whose blades are moved by angular tilting. Since the angle λ changes with tilting the blades, lever shears are usually designed with one or

both oblique blades, so the angle λ remains constant along the shear line.

A specific method of shearing with skewed blades is a TAHANÝ STŘIH, when the SHEAR (DRAW TAŽENÍ) angle φ is $2 - 10^\circ$. This shearing method is used for shearing fibrous materials, where the shearing force is reduced by up to 20 % with the angle $\varphi = 70^\circ$.



Material shearing – TAHANÝ STŘIH

(1 – initial position of movable blade, 2 – position of movable blade in shearing, 3 – lower immovable blade, 4 – sheared material)

Shearing with disc blades

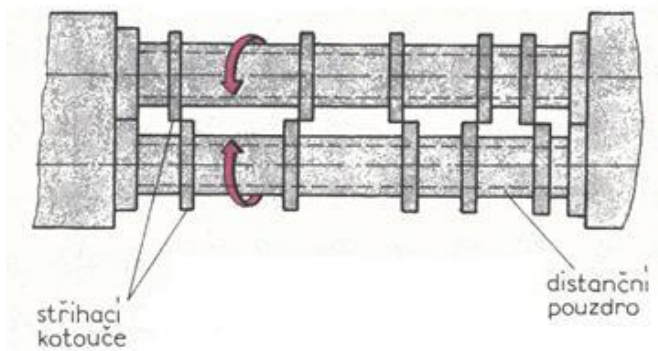
For longitudinal shearing of long strips, disc shears are used. It is a shearing tool with rolling blades.

The use of disc blades extends the shearing time but at the same time reduces the strokes. The angle of the edge changes from the highest values at the point of the stroke to zero.

The combination of a two-cone and cylindrical blade is used for shearing curved shapes, using the advantage of tilted tool axes.

For curve shearing the blades diameter shall be as small as possible. This enables to design shears with long disc carrying arms, thus enabling handling with sheared material.

A special type of shearing instrument is oscillating shears. They are used for trimming and making grooves and holes. The maximum material thickness is about 10 mm.

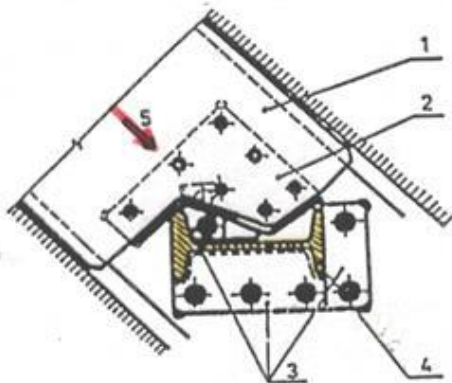


Circular shears – stripes shearing

Legend: střihací kotouče – shearing blades, distanční pouzdro – case

Shearing profiles, bars and tubes

What is often sheared is profile material, circular, round, profiles, etc. While the cross-section of the functional parts of the tools remains roughly the same, the longitudinal shape changes according to the shear purpose.



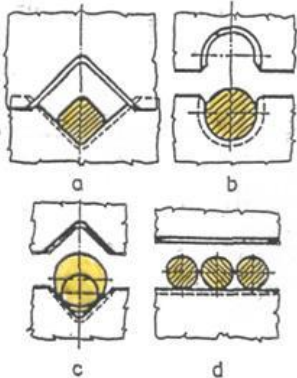
Profile shearing blades

(1 – punch, 2 – movable blade, 3 – immovable blade, 4 – sheared profile, 5 – direction of blade movement)

When shearing any profile material, the principle is that the thickness shall be always almost the same. The shape of the movable blade adapts to this principle. The figure

shows the blade shape for shearing profiles and blades shape designed for shearing square profiles as well as for shearing circular shapes. In the case of oblique movement of the movable part of the tool, a more uniform course of shear force is achieved in dependence on the stroke than if the movement of the blade depended on some of the cross-section axis.

When shearing tubes, with as little deformation as possible, the movable part of the tool has a shape of a pointed arc. The pointed part first pierces the tube; the sides then cut the tube so that the resultant force on the edge is perpendicular to the direction of the highest toughness. The shear gap is not the same along the entire length; it increases from the sides to the center.

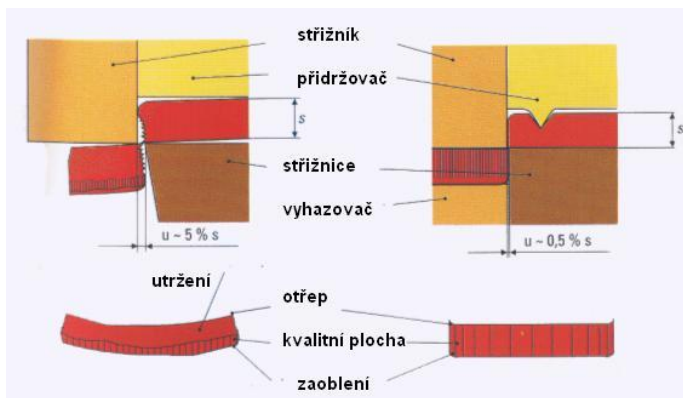


Blades for shearing square and circular material (a – square cross section, b – circular cross-section, c – cross-section with different diameter, d – circular cross-section with allowed deformation of profile)

3. Precision blanking and special shearing methods

3.1. Precision Blanking

Using the shearing methods described above, the shear surface and the sheared product have certain standard quality. This refers to the roughness of the sheared area surface and the precision of the dimensions. The following figure shows the shear quality for normal and precision blanking.



Shear quality for normal and precision shearing

Legend: střížník - shear pin, přídržovač - retainer, střížnice - die, vyhazovač - ejector, utržení - tear, otřep - burr, kvalitní plocha - quality surface, zaoblení - curvature

To enable using the sheared parts directly for assembly without any further modifications, technologists strived for improvement of the shearing process. All methods improving the quality of the shearing surface and dimensions of the sheared component are jointly referred to as precision blanking.

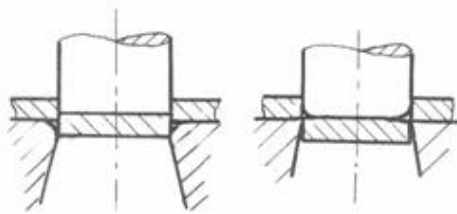
For the final product quality, clearance (gap) between shear pin and die is very important, since increasing the gap eliminates the tensile components caused by bending stress and the stress is close to pure shear stress.

Basically, precision shearing methods can be divided into producing the products:

- Within one operation – shearing without clearance, shearing with retainer, shearing with pressure edge, shearing with pressure edge and back pressure, reverse shearing, shearing with negative clearance, shearing using ESSA press,
- In two operations – trimming, vibrating shear pin.

Shearing without clearance

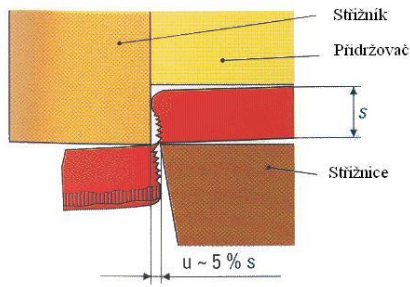
Shearing without clearance is shown in the figure. One functional part of the tool (either shear pin or die) is designed without an edge, with rounded shearing edge. The second part is sharpened. Left-sided arrangement improves the quality of the hole, right-sided arrangement improves the quality of the product surface.



Shearing without clearance

Shearing with retainer

Using retainer prevents bending the product edges and improves the quality of the surface. The tensile stress acts together with compressive stress, thus improving the stress at the shear point.

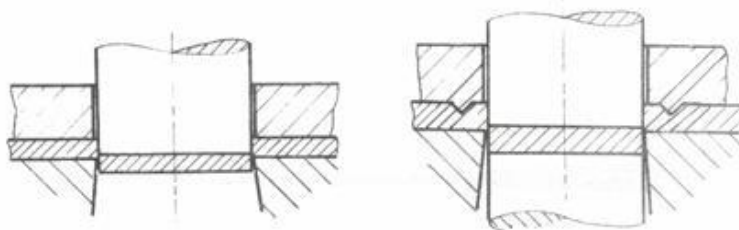


Použití přidržovače

Legend: střížník – shear pin, přidržovač – retainer, střížnice – die, použití přidržovače – using retainer

Shearing with pressure edge

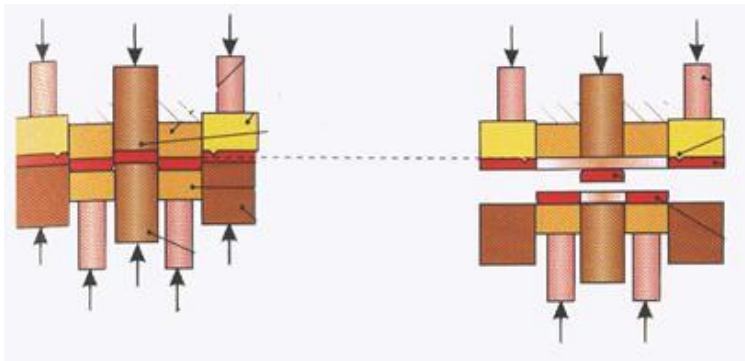
The best results so far in terms of precision blanking have been reported by using shearing with pressure edge. Pressure edge is pressed in the area of shear circumference, where it changes the stress in the shear area into a tri-axial one. The pressure edge also causes compression that facilitates moving closer to clean shear. Back press is ensured by elastic lower punch. This arrangement enables shearing of even relatively thick materials. For thicker materials (thickness of more than 5 mm) either two circumference can be used or one on the shear pin and one on the die.



Shearing with retainer (on the left) and shearing with pressure edge and back pressure (on the right)

Reverse shearing

Reverse shearing consists in gripping semi-finished product so the tension does not act.



Reverse shearing

Shearing with negative clearance and using ESSA press

Shearing with negative clearance is a process when the shear pin does not penetrate into the die hole. The shear pin diameter is roughly by 0.1 – 0.2 % of the sheet thickness higher than the die diameter. Shear pin must be 0.2 – 0.5 mm over the die plane, thus causing compression in the material and therefore also higher shearing force.

Shearing using ESSA press is the process when shear pin shears and oscillates simultaneously, thus polishing the shear surface.



Legend: konvenční výroba řetězového kola pro motocykl – conventional production of motorcycles sprocket, výroba řetězového kola pro motocykl přesným stříháním – production of motorcycle sprocket by means of fine blanking, 1 – shearing, 2 – punching, 3 – making relief holes, 4 – surface treatment, 5 – making inner hole, bilateral edge bevel, 6 – cog milling, 7 – modification of cogs, 8 – drilling holes, 9 – modification of holes, removing burrs

3.2. Shearing Plans

During shearing it is very important to place the pieces on the sheet so that there is as little waste as possible. Placement on the pieces on the sheet is then referred to as shearing plan. Waste (both technological and construction) is an inseparable part of the shearing technology, which is one of the mass production processes; therefore, placing the pieces must be paid great attention to, as material represents roughly 60 – 70 % of the overall costs. The selection of the shearing plan depends on the shape and structure of the product, adherence to construction principles, minimum distances between the products and the distance from the edge of the sheet.

Shearing plans can be either a piece plan, when the most suitable shearing method is chosen, or a large-scale shearing plan, when various shapes and components of one product are to be sheared.

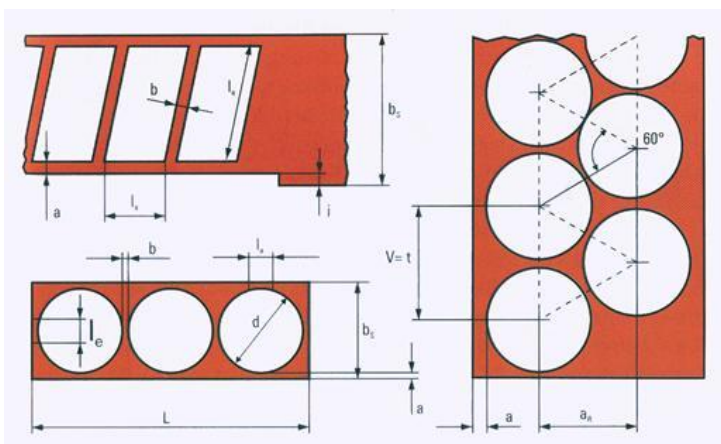
Shearing efficiency is characterized by the coefficient of the material use, expressed as:

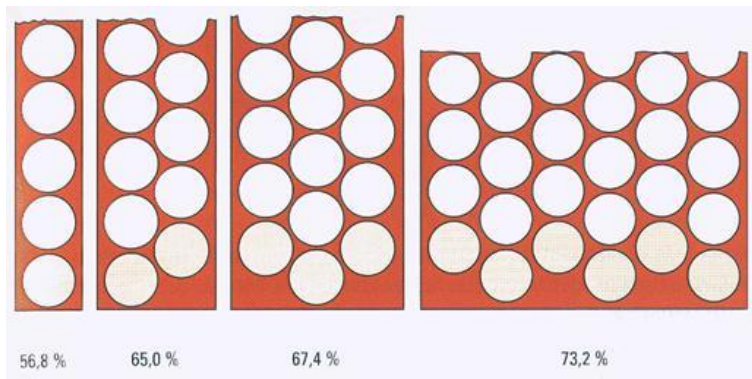
$$\eta = S_o / S_p$$

where

S_o ... overall area of the products [mm^2],

S_p ... area of the sheet strip [mm^2].





3.3. Shearing Tools

Shearing tools are the tools where the function of upper movable blade is performed by shear pin and function of lower immovable blade is performed by die.

Classification:

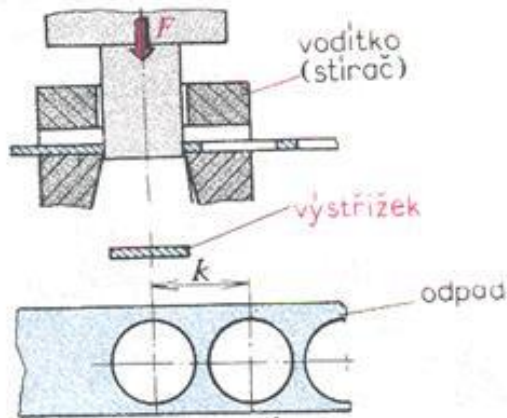
- by number of operations
 - Single-operation,
 - progressive,
 - combined,
 - compound,
 - compound progressive,

- by type of operation
 - shearing,
 - bending,
 - pulling, etc.

- by number of products
 - single-product
 - multiple.

Single-operation shearing tools

The first type is a single-operation shearing tool. The position of the belt is ensured by stop, the movement is by one step (size of the product plus addition)



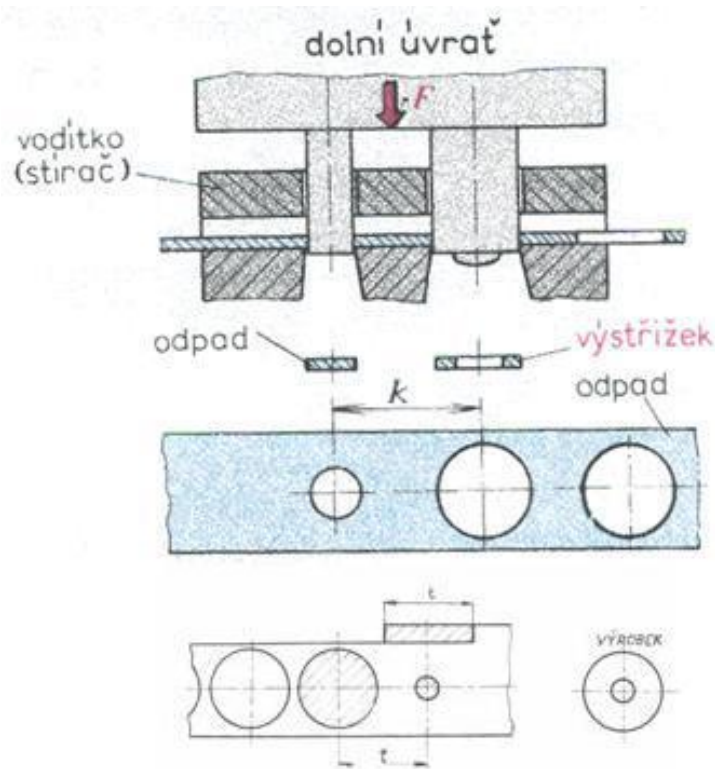
Single-operation shearing tool

Legend: vodítko, stirač – stripper, výstřížek – product, odpad - waste

Progressive shearing tools

Progressive shearing tool makes the product progressively, using several steps and several operations. A load stop is used when a new belt is inserted. The position of the belt is ensured by fixed end stop.

The function of the tool can be seen in the figure. There are 3 hatched areas that are sheared in one stroke. The rectangular area is cut off by a side shear pin, ensuring so-called step, that is, the movement of the belt by distance t . Circular areas of different diameters represent different products. The movement of the belt is from right to left. The right (small) circular product goes into waste, on the left side, the finished products (washers) can be seen.



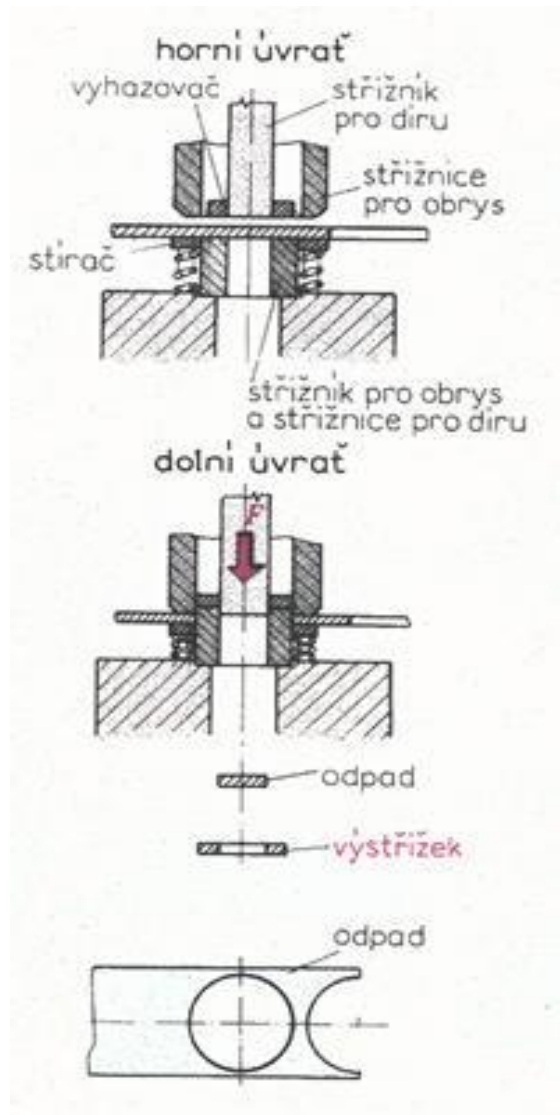
Progressive shearing tool

Legend: dolní úvrať – lower dead centre

Combined and compound shearing tools

A combined shearing tool is designed for several operations per one step. This way e.g. punching and blanking is performed while shearing.

Unlike this, a compound shearing tool is designed for combining various tasks per one step (e.g. shearing, bending, pulling, etc.) or per more steps. This is referred to as compound progressive tool. The individual operations are ensured by the design of the



shear pin or the tool as such.

Combined shearing tool

Legend: horní úvrať – upper dead centre, vyhazovač – ejector, střížník pro díru – shear pin for making hole, střížnice pro obrys – die for making outline, střížník pro obrys – shear pin for making outline, střížnice pro díru – die for making hole, dolní úvrať – lower dead centre

3.4. Special Shearing Methods

Shearing by means of rubber

Shearing by means of rubber is used for shearing the product from thin tin sheet. The shearing tool here consist of a steel plate, its thickness is 6 – 10 mm, with the same contour as the product contour is, and rubber either fixed in a frame or loosely placed on a

semi-finished product.

Using this tool, trimming, punching, or combination of trimming and punching can be performed. The rubber plate thickness is about 150 mm and it consists of several components.

The steel frame is very stressed, as well as the steel shearing plate which must be of a smooth surface so that it does not leave traces on the final product.

The advantage is the tool simplicity and low price, the possibility to shear various parts at the same time, or a possible combination with pulling. Disadvantages include the volume of waste, thickness limitations, and low rubber durability.

Shearing at increased speed

Shearing at increased speed is based on minimizing the volume with depleted plasticity. The cracks are very close to each other, resulting in perpendicular and planar shear surfaces.

This is only possible at critical speeds, the values for carbon steel being between 3 - 5 m.
 s^{-1} .

4. Bulk-forming Technologies – Extrusion

4.1. Extrusion

Extrusion is a technology that can be done at various temperatures – there is hot extrusion, warm extrusion, and cold extrusion. Stress in the deformed part of material is three-axial, under pressure from all sides. The material being formed is moved in the direction determined by the design of the forming machine – extruder. The product is then called extrudate.

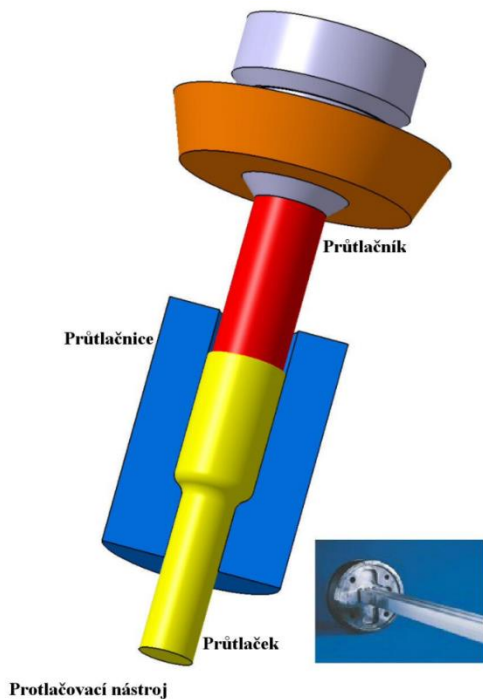
There are two types of this technology. The first type deals with final product manufacturing, the second type deals with semi-finished products (tubes, bars, profiles, etc.). Cold extrusion has been used for deforming light and non-ferrous metals for more than 100 years. This technology has been used e.g. for producing tubes, cartridges, etc.

Hot extrusion

- This technology is used for bars and tubes with a complicated cross-section that cannot be manufactured by rolling.

Cold extrusion

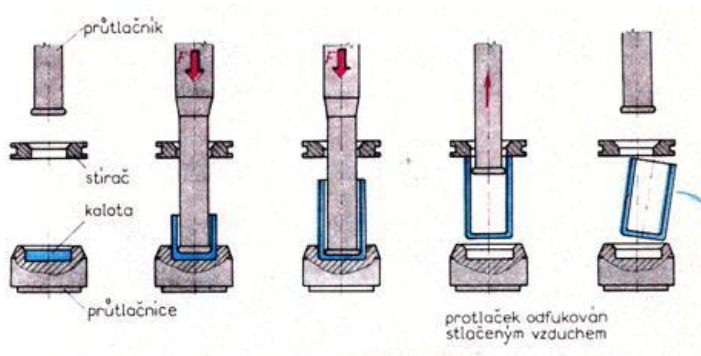
- This technology is used for producing thin-wall bodies: cartridges, tubes, spray cans.



Legend: průtlačník - pusher, průtlaček - extrudate, průtlačnice - die, protlačovací nástroj – extruder

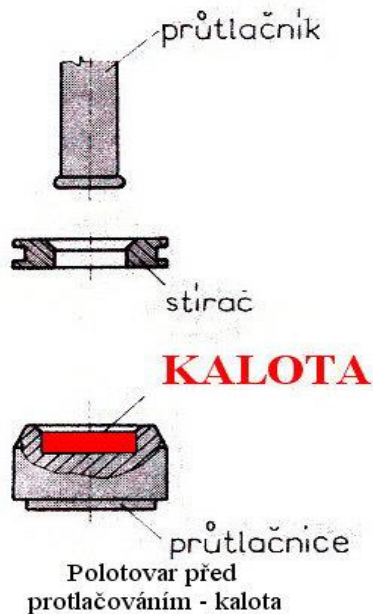
4.2. Extrusion Principle and Influence of Material

Extrusion principle consists in material deformation due to the forces acting in a predetermined direction resulting in production of a final product with desired mechanical properties and dimensions. Extrusion is one of the processes that contributed most to the significant reduction of the costs in production and therefore to the rationalization of production. The precision of extrudates is usually very high (± 0.05 mm), so it is not necessary to size them prior to mounting. Also the utilization of material is very high (90 - 100 %).



Legend: průtlačník - pusher, stírač - stripper, kalota - calotte, průtlačnice - die, protlaček odfukován stlačeným vzduchem – extrudate blown off by compressed air

- The quality and initial state of the material significantly influences extrusion technology and process.
- Due to the magnitude of resistance, for extrusion, materials with more than 10% ductility and 50% contraction (steels with a C content up to 0.2 %) are suitable.
- Unsuitable materials are those that require forming pressure higher than 2500 MPa or if it is not possible to make at least a 25% deformation during one operation due to their chemical composition.
- Materials with low forming strength (aluminium and its alloys) can be extruded in one operation.
- Steels and other metals are extruded in more than one operation. In some cases, intermediate annealing is necessary (first recrystallization and then soft annealing).
- The maximum reduction per one extrusion is limited by the permissible stress of the device. Reduction e.g. for steel with a 0.1% C content is up to 60 %.
- Before extrusion, the material must be modified by straightening and dividing into calottes, including heat treatment and followed by surface treatment.



Legend: polotovár před protlačováním (kalota) – semi-finished product before extrusion (calotte)

4.3. Labour and Force Calculation

For cold extrusion, high deformation forces are necessary, depending on the chemical composition of the material, preparation and heat treatment, lubrication, tool geometry (the bigger, the higher force), size of reduction (the bigger, the higher force), wall thickness (the thinner, the higher force), type of the machine. The necessary forces and labour are difficult to calculate and will not be mentioned here. The cold extrusion resistance grows with the degree of the material reinforcement, and the calculation is as follows:

$$k_{ostř} = (k_{o1} + k_{o2}) / 2,$$

It is the same even if it is not a line but a curve. In the case of hot extrusion the resistance is constant.

4.4. Influence of Friction

One of the decisive factors in extrusion process is *friction* that significantly influences the process, the quality of the product and economy of production, especially in the

case of steels – appropriate surface treatment is necessary, otherwise dry friction occurs and the tool blows. Surface treatment consists of:

- Removing surface defects (blasting, grinding, pickling in the case of Al, ...),
- Chemical and mechanical cleaning (washing, drying, ...),
- Phosphatising (phosphate surface has high adhesion to initial material, which is mostly a disc or a disc with a hole, so-called calotte. This allows the material surface to be lubricated due to the porosity of the phosphate layer at high pressure, which was first used in the 1930s.),
- Application of a lubricant layer (e.g. by solution of organic oil and soap).
- Magnitude of friction forces also depends on the roughness of pusher and die surface and their wear at critical points. In some cases, glass of a suitable chemical composition is used as a lubricant for hot extrusion. The glass melts when extruded (and it is necessary to remove the glass-like film). In the case of non-ferrous metals, so called *chemise* is used /gap between the pusher and die, about 2 – 4 mm, where the material leaks and acts as a lubricant.

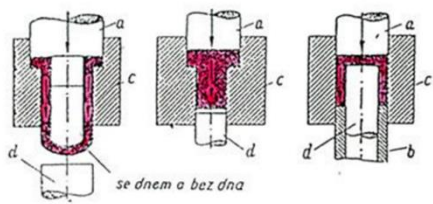
4.5. Classification of Technologic Methods of Extrusion

Extrusion is divided into several types by the direction of movement and tool:

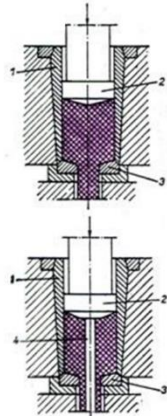
- Forward (direct),
- backward,
- combined,
- side extrusion,
- radial.

Direct extrusion

In forward (direct) extrusion, the material moves in the same direction as the pusher. The initial semi-finished product is a calotte obtained by e.g. sheet metal pressing or bars parting. It is used in forming pins, bolts, bushings, etc., that is, products with not constant cross-section.



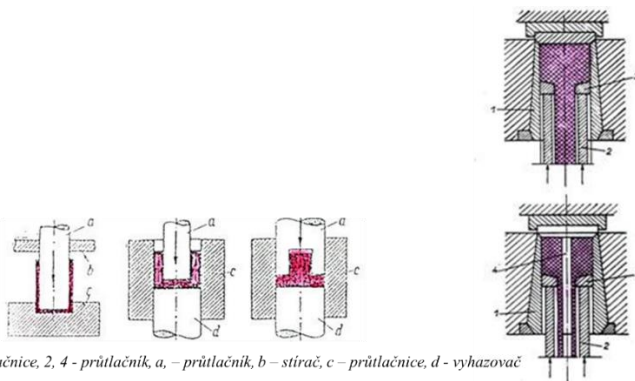
1, 3 – průtlačnice, 2, 4 –
průtlačník, a, – průtlačník,
b – stírač, c – průtlačnice,
d – vyhazovač



Legend: 1,3 – die, 2,4 – pusher, b – stripper, d – ejector, se dnem a bez dna – with and without bottom

Backward extrusion

In backward extrusion, the material moves in the opposite direction. It is used for manufacturing hollow extrudates with ribs, where the wall thickness is very small or very high compared to an average.

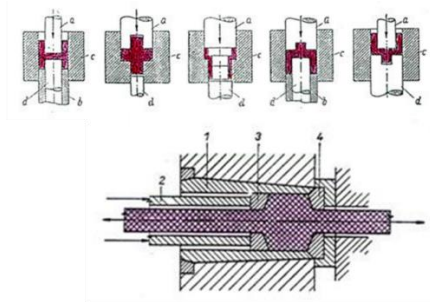


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 – průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d – vyhazovač

Combined extrusion

It is used for manufacturing profiles that are much stressed and that do not have to be of a cylindrical shape. In combined extrusion, material moves in both directions, if the degree of deformation in the lower part of the extrudates at the bottom of a die must be

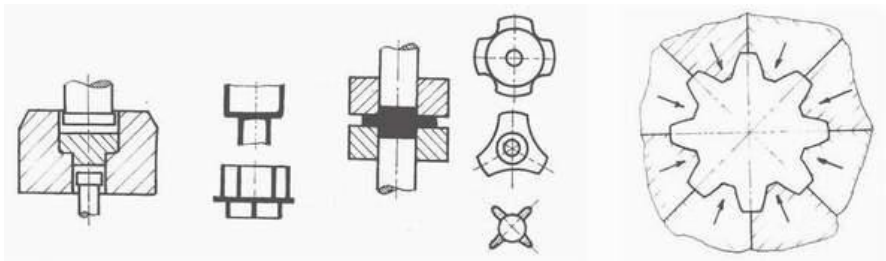
lower than in the upper part formed by a pusher; otherwise the material does not get into the bottom.



1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d – vyhazovač

Side and radial extrusion

In side extrusion, the material formed moves perpendicular to the direction of the pusher movement. It is used for manufacturing extrudates with external and internal bilateral mounting. Radial extrusion consists in forming in which the material and machine parts move in the radial direction to the material axis.

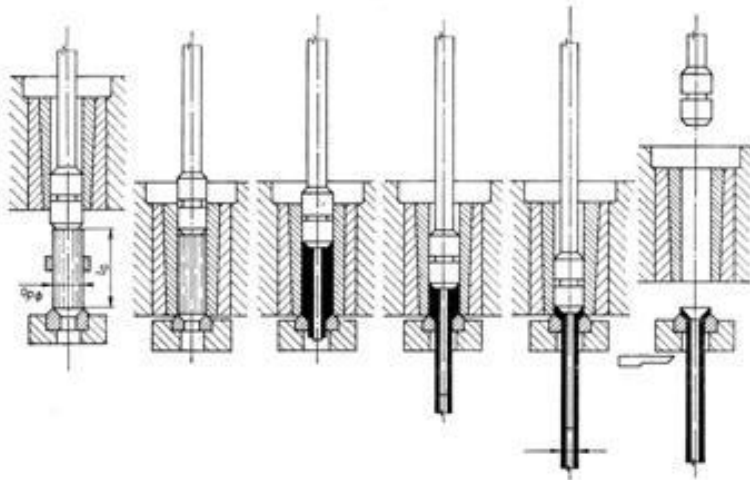


4.6. Special Extrusion Methods

Pipes extrusion

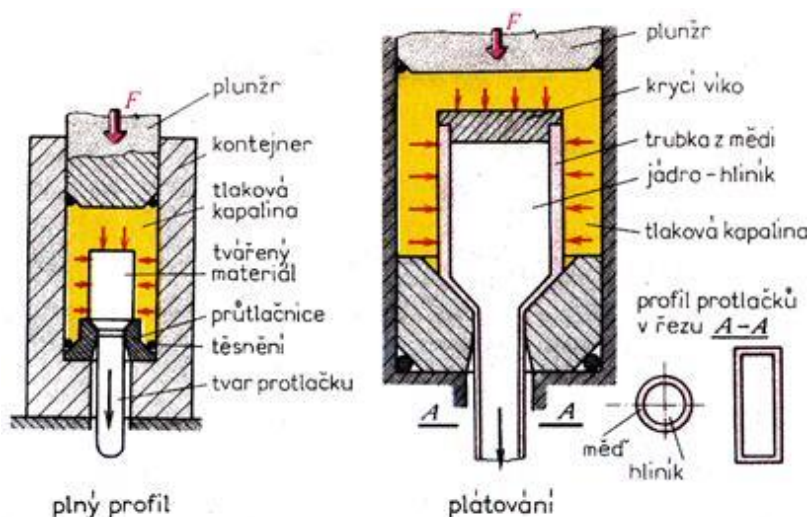
For the technology of *pipes extrusion* the initial semi-finished products are rolled blocks of required length. This is followed by heating and **punching** and **forward extrusion**. When the process is finished, in the die there is remaining material, technological waste that has to be removed. The degree of deformation is high, the coefficient of lengthening is 8 – 25 (from the semi-finished product of a 700-mm length and 200-mm diameter,

a pipe of a 6-18-mm length can be made).



Hydrostatic extrusion

Another special technology is **hydrostatic extrusion**, where the semi-finished product is surrounded by a fluid of a high pressure. This creates a tension on all sides and the malleability of the material increases. Technological possibilities of hydrostatic extrusion are so advanced that extrusion can be done without a phosphate layer, or it can be used for the copper clad products. Hydrostatic pressure is up to 3000 MPa. Forming in one operation can be up to 80%.



Legend: plunžr - plunger, kontejner - container, tlaková kapalina - pressure fluid, tvářený materiál - material formed, průtlačnice - die, těsnění, tvar protlačku - extrudates shape, plný profil - full profile, krycí víko - lid, trubka z mědi - copper pipe, jádro - core, hliník - aluminium, profil protlačků v řezu A-A - profile of extrudates in A-A section, měď - copper,

4.7. Extrusion Machines and Tools

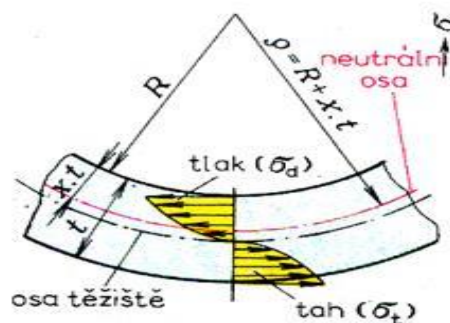
An important factor is also the *construction* of the tool and *geometry* of the die and pusher. It is not possible to choose any bevels, radii, curvatures (zaoblení), etc. of the forming parts of the tool. A tool, whose main parts are pusher and die, is subjected to a specific pressure, so its material, heat treatment, and surface roughness are important. The lifespan of the forming parts of the tool is between 3000 and 50000 pieces. The cold extrusion process of steels is limited by the strength of the die material; in the case of backward extrusion, also by the pusher material strength.

For cold extrusion, mostly mechanical crank and toggle vertical presses and hydraulic presses are used. The pressing force is 300 - 120000 kN. In hot extrusion, the materials processes are the materials whose cold formability is limited and would be expensive (e.g. rolling). After extrusion, the extrudates are ejected by the ejector or blown by compressed air. In combined extrusion, the extrudates are ejected by the ejector or stripper (depending on whether they stick to the pusher or remain in the die). The inner walls of the extrudates are slightly conical with a bevel of 1 - 2°. The tool must have holes for air and lubricant leakage.

5. Bending

5.1. Technology of Sheet Metal Forming – Bending

- Bending is a forming process in which the material is deformed in various bending angles with higher or smaller edge rounding.
- For bending, a **bending tool** is used, consisting of a **bending punch** and **bending die**.
- The product is a **stamping (bend)**.
- Bending (the resulting shapes can be returned to their original shape) into the desired shape works on the same principles of plasticity as other forming methods. Exceeding the yield strength, plastic deformation is achieved. Plastic deformation is accompanied by elastic deformation. It's an elastic plastic deformation



with a different course from the material surface to the neutral axis.

Distribution and size of stress in material

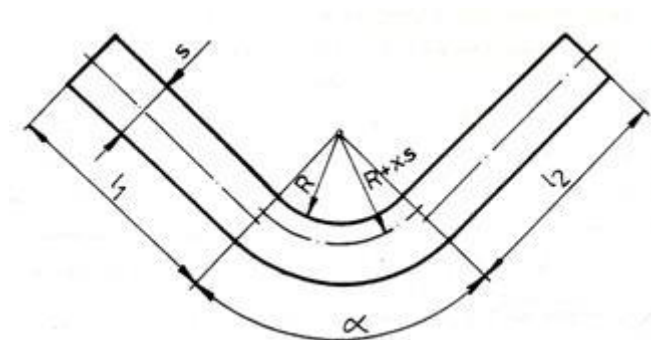
Legend: neutrální osa – neutral axis, osa těžiště – center of gravity axis, tlak – pressure, tah – drawing

5.2. Deformation of Cross Section, Neutral Axis

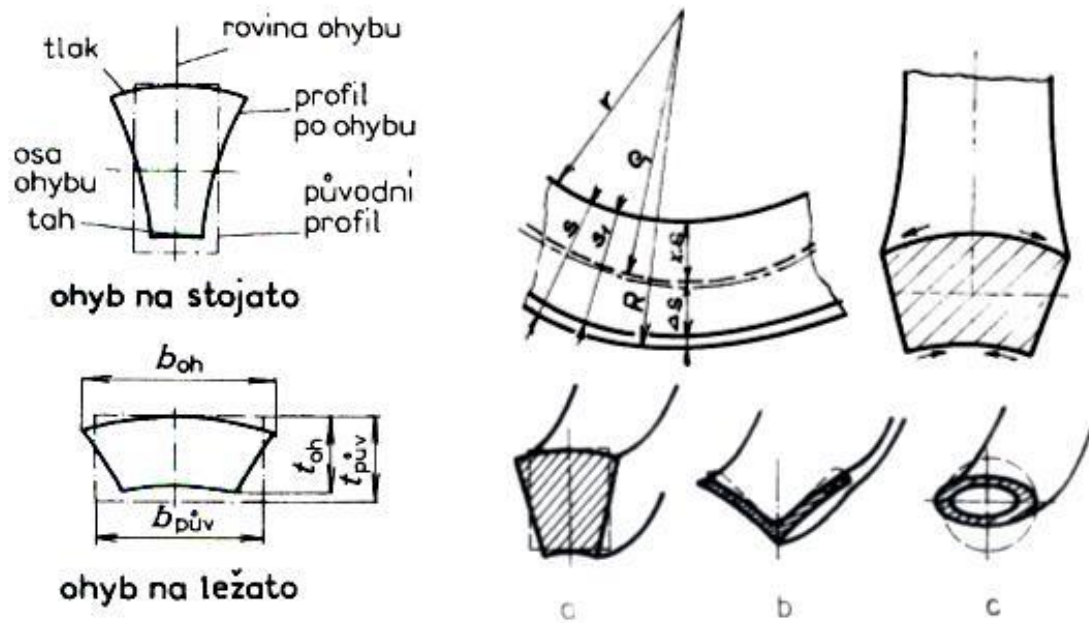
Bending deforms cross-section. In the case of higher cross-section, the deformation is higher than in the case of smaller cross-section. In the case of wide bands ($b \geq 3s$) the material is not deformed because the resistance of the material of large width (due to its small thickness) acts against the deformation in transverse direction. Metal layers on the

outside of the bend expand and extend in the longitudinal direction and compress in the transverse direction.

Around the central part of the section of the bent material, tensile stress achieve lower values than the yield strength of the material is. Between the two bands the fibres are stress free and there is no deformation. Their links make a so-called neutral axis in which there is no stress and which neither shortens or extends in bending. The neutral axis is at the beginning in the centre of the section, during bending it moves towards the inner side of the bend. It is thus not identical to the centre of gravity axis of the bent material.



Movement of neutral axis at the point of bend



Cross-section deformation during bending for different heights and profiles

Legend: tlak – pressure, osa ohybu – bending axis, tah – draw, původní profil – initial profile, profil po ohybu – profile after bending, rovina ohybu - bending plane, ohyb nalezato - horizontal bending, ohyb nastojato - vertical bending

The length of the semi-finished product before bending is determined from the length of the neutral axis in bent parts and from the length of the straight sections. In the case of thin tin sheets, the difference is not significant, however, it has to be taken into account in the case of thick tin sheet. The distance x characterizing the position of the neutral axis depends on the R/t – see the table. The bending radius of the neutral axis is

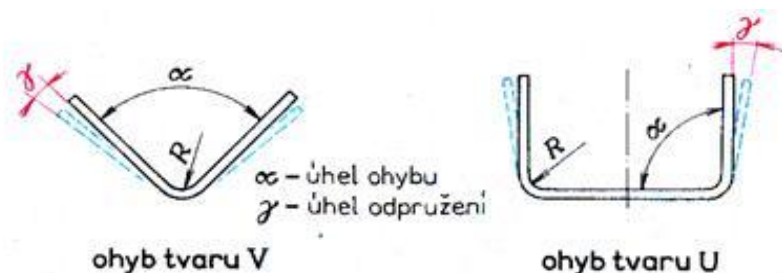
$$\rho = R + x \cdot T$$

where

R ... inner bending radius [mm],
 x ... coefficient of neutral axis movement,
 t ... thickness of material [mm].

5.3. Cushioning

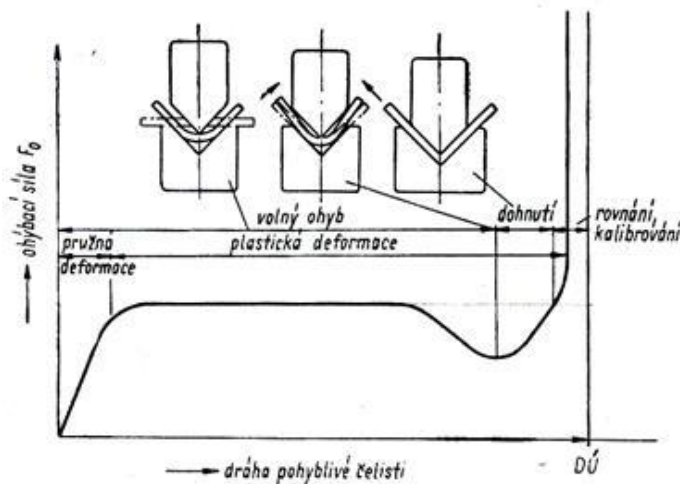
If the external forces do not act on the body being deformed any more, the dimensions of the body partially return to the initial state, that is, the body will cushion. While in the case of the technologies discussed above the cushioning was negligible, it is important in the case of bending. Cushioning at bending shows as an angular deviation, whose importance increases with the length of the arms. Reverse cushioning of the bent parts is caused by the elastic deformation of the material around the neutral axis. The size of the angles depends on the material ductility, bending radius and bending method. It usually ranges from 3 to 15°.



Legend: úhel ohybu – bending angle, úhel odpružení – cushioning angle, ohyb tvaru V/U – V/U-shape bend

Cushioning is mostly limited as follows:

- The material is bent by the value of the cushioning angle γ , which is determined either by the empirical formulas or from the tables. The tool must be designed with the angle correction γ , otherwise the product won't have the desired shape.
- *Calibration* is used, i.e. the pressing force at the end of the pressing cycle is increased, local plastic deformation occurs at the point of the bend and the value

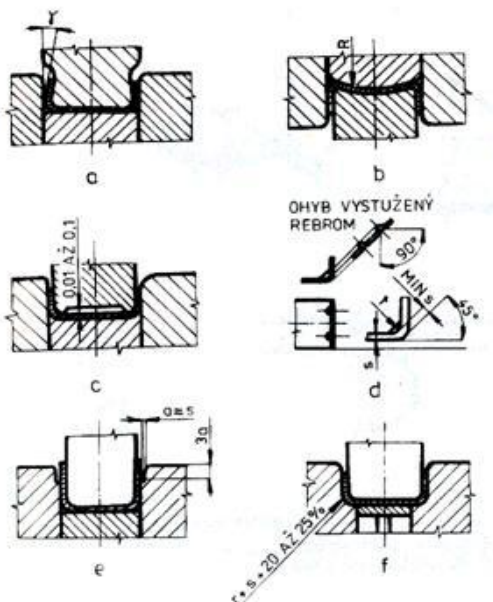


of cushioning decreases until it eventually disappears.

Course of bending force including calibration

Legend: ohýbací síla – bending force, pružná deformace – elastic deformation, plastická deformace – plastic deformation, volný ohyb – loose bend, kalibrování - calibration

- **Depressions on the stamping** will be used, when the cushioning is almost completely removed. Bending cushioning can be removed as follows: lightening (podbroušení) of the movable jaw by angle γ , rounding of the lower side

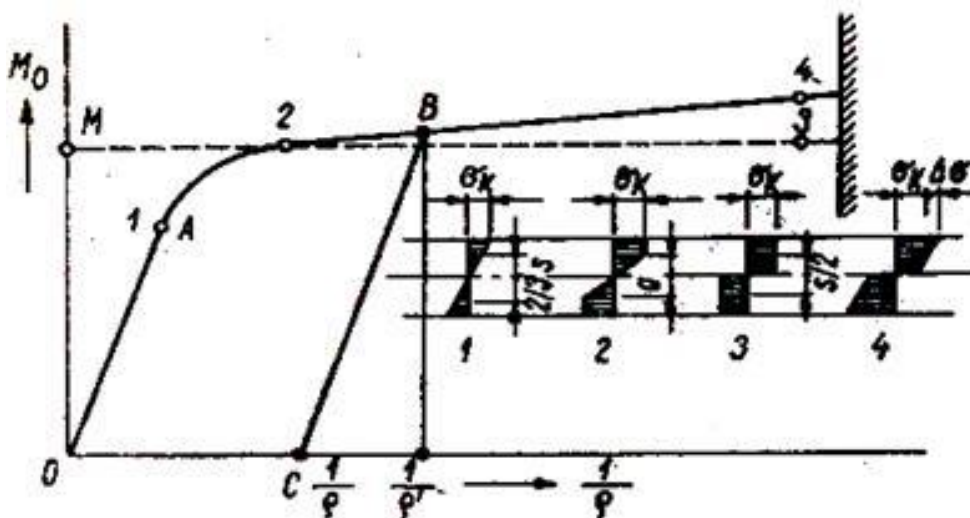


of movable jaw and retainer by radius R , strengthening of the material in the corners by impact, pressing of the rib at the point of bending, gradual bending with the lightening of fixed jaw by the material thickness and strengthening the material by a deformation radius in the fixed jaws.

Structural adjustments of bending jaws as a protection against the material cushioning

5.4. Distribution of Stress

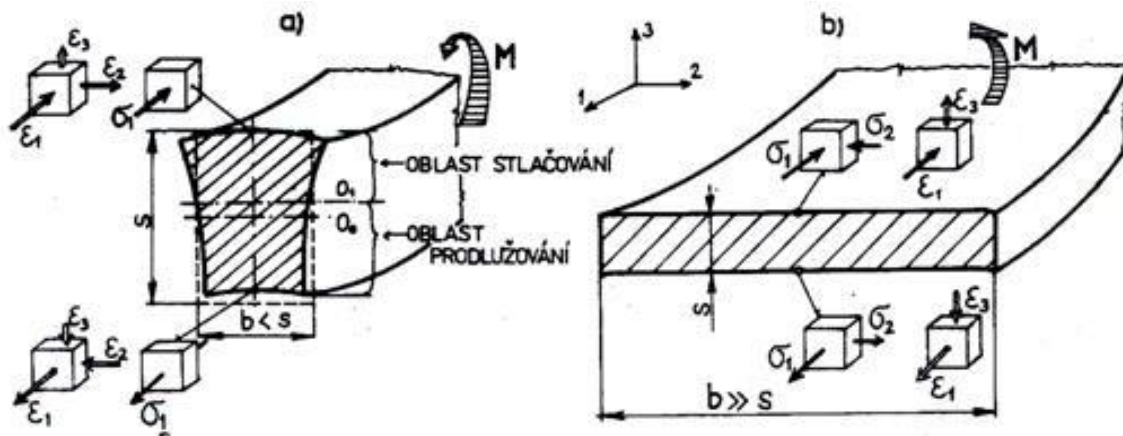
- When bending, the stress in the outer fibers of the materials is opposite (draw, pressure).
- The figure (1) shows the distribution of the stress in the material cross-section subjected to bending below the yield point.
- If the stress rises above the yield point, plastic deformation increases as well (in the centre). In this case, the stress in the zones of plastic deformation does not rise above the yield point value (2).
- If the bending moment increases, the elastic core disappears and the size of stress remains constant (3).
- If we consider strengthening of the material in cold forming, the ratios are according to (4) and the figure on the right.
- Around the neutral axis, there is a zone of elastic deformation, which causes cushioning after lightening.



Stress distribution in cross-section when bending material

At the point of bending, the material bent shows three zones (the stress in the bent material in the case of thin tin sheet is shown in the figure):

- Zone of elastic deformation around neutral axis,
- Outer zone of permanent prolongation,
- Inner zone of permanent heading



Stress and deformation in bent material

Legend: oblast stlačování - compression area, oblast prodlužování - lengthening area

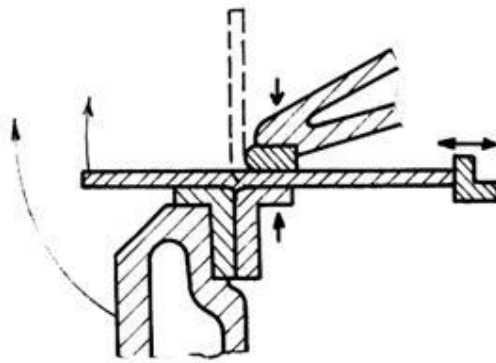
5.5. Bending Technological Procedures

- Bending can be performed freely or using a fixed tool.
- Bending technological procedures can be divided as follows:
 - By the tool used,
 - By the curvature radius,
 - By the technological method.

Classification of technological procedures of bending by the tool used

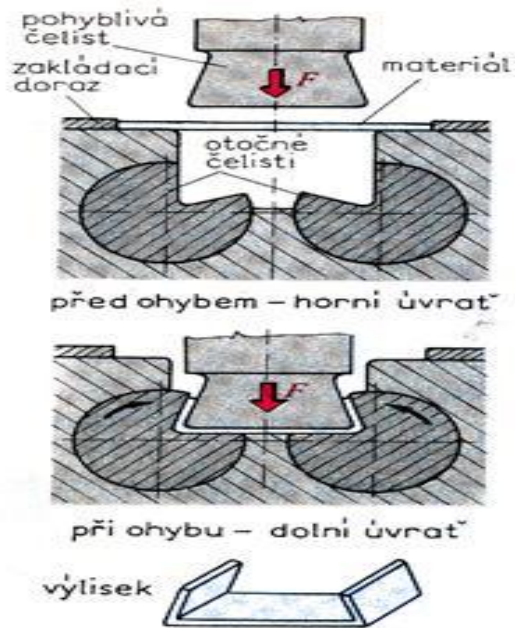
- Manual bending using manual bending tools, benders.

- Not all bending operations can be done using press. For some bending operations, special bending tools, also manually operated, are designed, e.g. for bending long strips and tin sheets (these are bent using a machine with a hinged plate – see the scheme in the figure)
- The material to be bent is placed on the machine table and leveled to the stop. Then it is clamped at the bending edge. The edge on the machine consists of replaceable steel hardened bar. After being clamped, the material is bent by tilting the plate by any angle pre-adjusted with a stop. The machine is delivered with a number of auxiliary devices.



Bending tool with a rotating plate

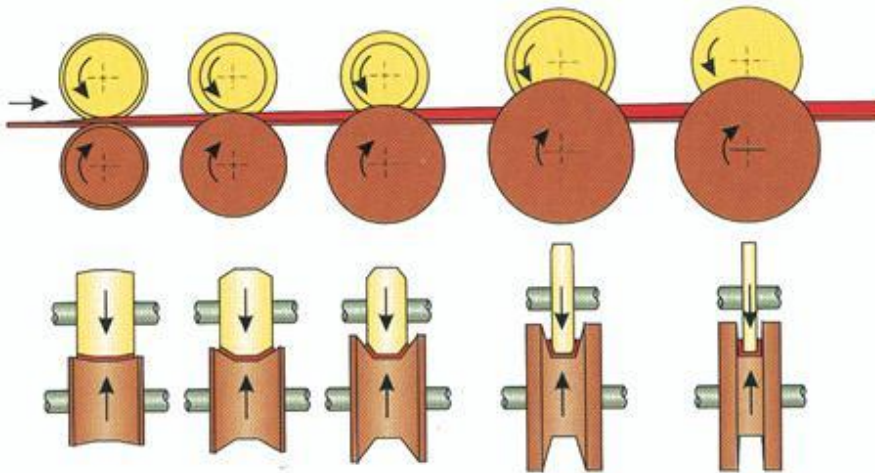
- Bending using **presses** in a bending tool (bender), whose movable jaw performs rectilinear reciprocating movements.
- This type of bending is done using the following types of presses:
 - mechanical
 - hydraulic,
 - Special machines - depending on the technological process itself
- Bending tools for press application are quite simple compared to other tools. The figure shows a bending tool for bending with a bending angle above 90°. The cylindrical parts of the tool rotate around the cylinders axes and springs return them into the initial position. The product is removed from the tool by sliding from the bend, perpendicular to the bend plane.



Bending tool (bending angle above 90°)

Legend: pohyblivá čelist - movable jaw, materiál - material, otočné čelisti - rotating jaws, před ohybem - before bending, horní úvrat - upper dead centre, při ohybu - during bending, dolní úvrat - lower dead centre, výlisek - stamping

- Bending using rollers: the bending tool are the rollers performing a rotating movement. The following figure shows an example of bending by rolling.



Bending by rolling

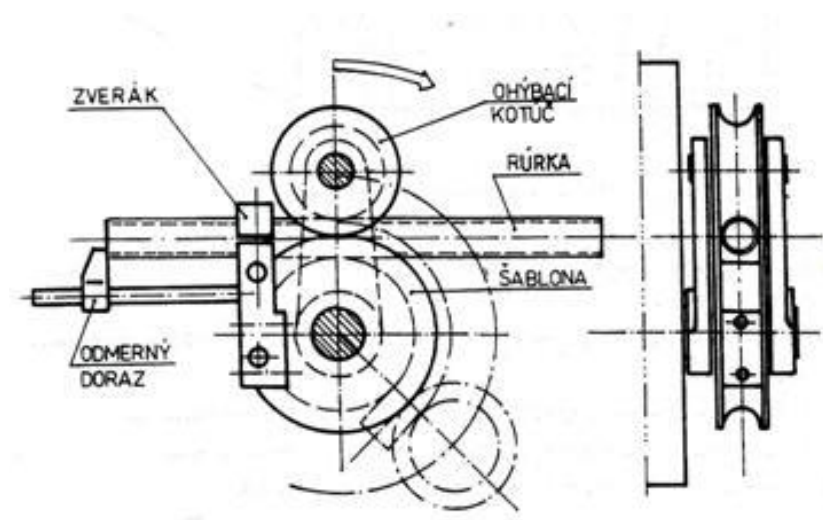
Classification of technological procedures by curvature radius

- Bend with a small radius - large plastic deformation,

- Bend with a high radius – low degree of plastic deformation.

Classification by production technology

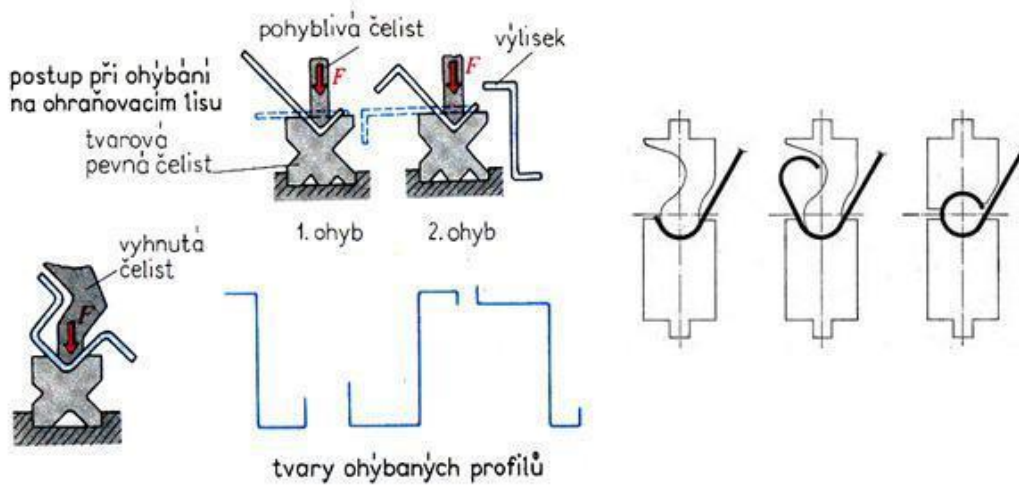
- "classical" bending - examples of bending were shown in the figures and diagrams. The figure below shows bending of tubes. Bending is carried out by rolling the disc over the pipe inserted in the slot of another disc. The disc are replaceable, the slots dimension must correspond to the diameter of the tubes. Deformation of tubes is prevented by inserting the tube into the slot so that it cannot widen.



Bending of tubes

Legend: svěrák – clamp, doraz – impact, ohýbací kotouč – bending disc, rúrka (trubka) – pipe, šablona – mould

- **Brake bending** on presses that serve to produce various thin-walled profiles as well as profiles of thickness of 20 mm, and profiles with a small rounding radius. The principle is not different from bending on common press. The difference is in the length of the machine and the press. The length is limited by the width of the braking press.

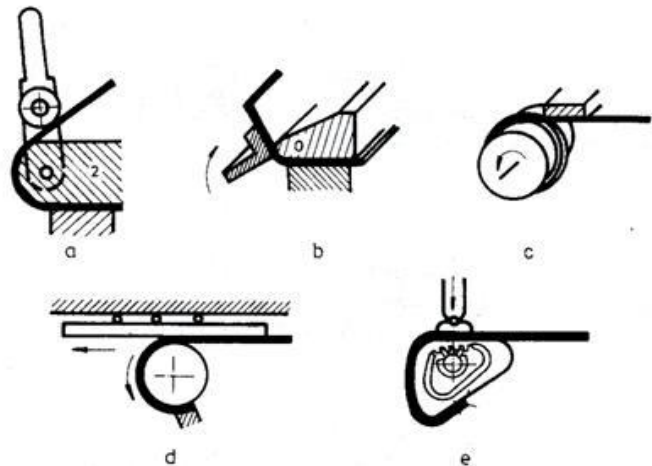


Brake bending examples

Legend: postup při ohýbání na ohraňovacím lisu – brake bending on brake press, tvarová pevná čelist – fixed jaw, pohyblivá čelist – movable jaw, výlisek – stamping, ohyb – bend, vyhnutá čelist – bent jaw, tvary ohýbaných profilů – shapes of bent profiles

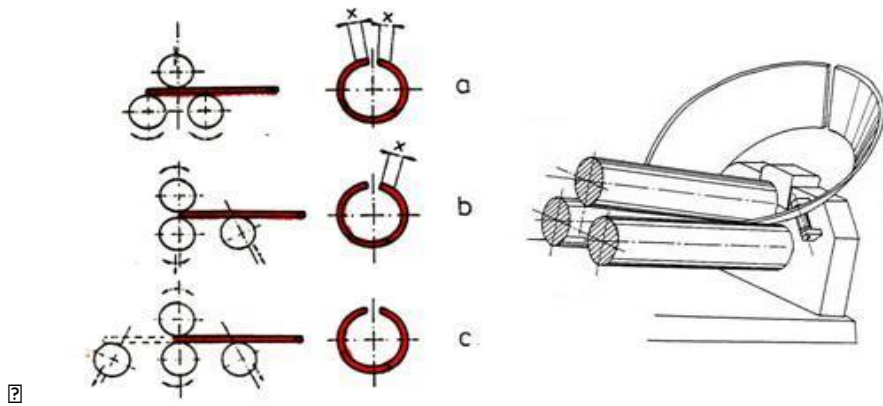
The starting material is the sheet bands. Each forming operation is performed per one press stroke and for each profile shape a separate tool must be attached to the press. The tool consists of various steel bars that are both delivered with the machine and also specially designed and manufactured. The upper part of the tool can be shaped. Brake press is a mechanical press enabling to use long bar tools. On both machines, the bend is performed in the entire length of the material:

- **Flashing (lemování)** is an operation when we need to reinforce the edge of a stamping or prepare a semi-finished product for an additional forming of joint. It is also used to make grooves in the middle or on the edge to increase the rigidity of the product.
- **Winding (navíjení)** is a process when the formed material is wound up gradually on the roller and produces the desired shape identical to the shape of the tool. Most often, winding is used in coil sheets.



*a – manual, b – using bending tool, c- winding springs on mandrel,
d – winding bars, e – winding a belt on mould*

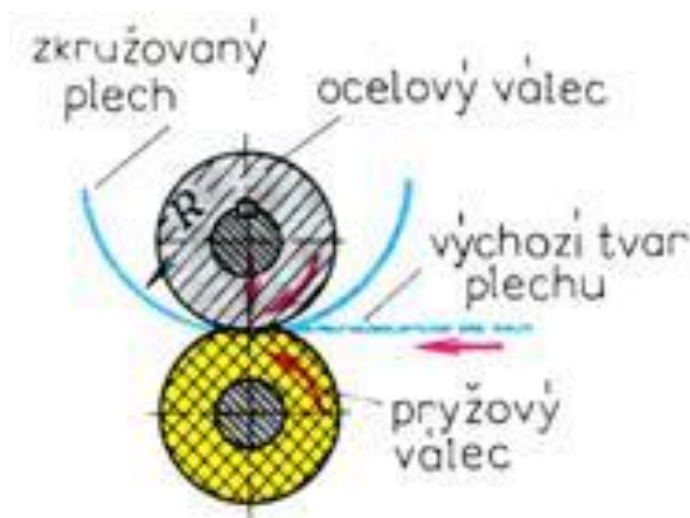
- **Roll bending** is used for manufacturing cylindrical or conical casing of containers, tubes, even for 30-mm thick sheets. Thicker sheets are then hot rolled. Machines used for this purpose are called bending rolls (see the figure below). The tools can be three or multi-roll tools, and their design depends on the sheet thickness and requirements for the rounding of sheet ends.



Arrangement of bending rollers (on the left) and a detailed view to a cone bending (on the right)
 a – three-rolled symmetrical tool, b – three-rolled unsymmetrical tool, c – four-rolled

Thin sheets are bent on the machines with a steel and rubber roller – technology of bending using elastic tool. The bending radius changes depending on the rubber compression. The surface quality of the products is significantly better, but more forming labour is necessary, as a part of it is necessary for the deformation of the elastic part of the machine – rubber.

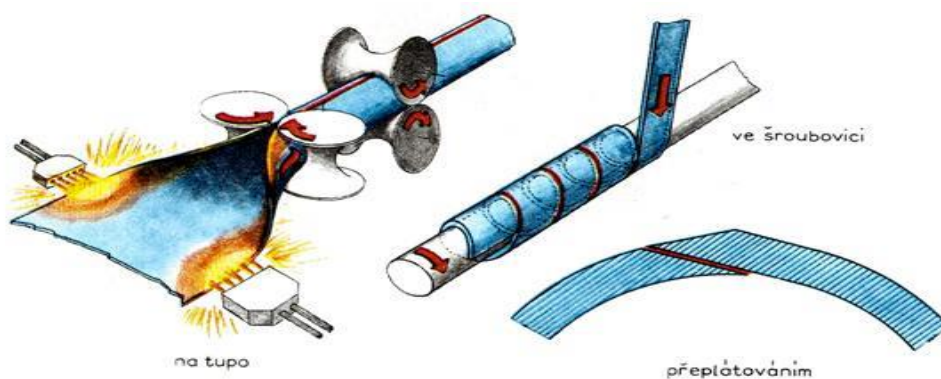
- Rolling, profiling, winding on presses is performed in order to create a circular shape on the sheet edges. It consists in a gradual continuous bending of strips on profiling machines and it is used for manufacturing tubes (welded, thin-walled) and profiles or for winding hinges wings using the vertical movement of press beam. During rolling, a gradual change of shape occurs by bending using rollers that are of different dimensions so that there is a horizontal tension in the sheet and the strip moves on its own, at a high speed (about 25 m.min⁻¹).



Bending tool with rubber roller

Legend: zkružovaný plech bent sheet, ocelový válec – steel roller, výchozí tvar plechu – starting sheet shape, pryžový válec – rubber roller

For profiling, simple two-part tools can be used, designed as a pair of profiled discs. The figure on the left shows a tool adapted for lateral bending of a sheet, the figure on the right shows adaption for beading (žlábkování). The lateral bend and the groove can be made on the edge of a planar sheet (strip) as well as on the edge of a sheet rolled into a cylindrical shape. By gradual bending, it is possible to make a profile of any length, including in the case of more complex profiles.

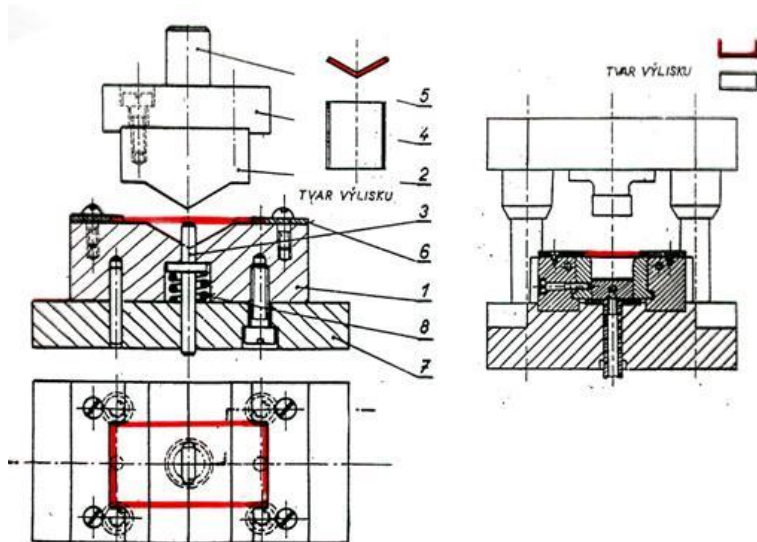


Manufacturing of thin-walled tubes by profiling, winding, overlapping

Legend: na tupo - butt, ve šroubovici - helix, překlátáním - overlapping

5.6. Bending Tools

- Bending tool consists of *bending punch* and *bending die*, or loading stops. Bending tools can be divided by the method and technology of bending, mostly for a U or V shape. Bending tools are usually not separate and are designed as combined tools.

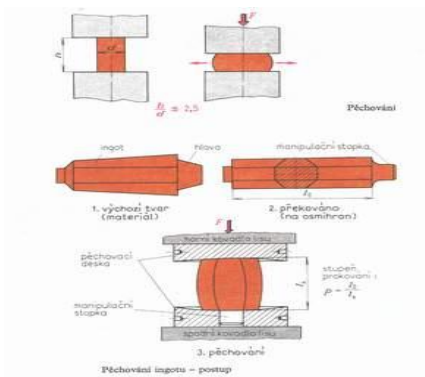


Tools for a V (on the left) and U (on the right) bent

6.Special forging methods

6.1. Upsetting

- The basic procedures of open die forging include **upsetting**.
- Upsetting is the simplest forging process, in which plastic deformation of the material occurs between two flat or forming jaws.
- On the other hand, upsetting is the most force and energy-intensive forging operation. It can be either direct forging when forging flat forgings or a pre-operation for perfect forging of the material, reducing anisotropy and more suitable arrangement of fibres.
- It reduces the height and extends the cross-section surface.
- For forging, the material shall be heated up evenly and ensure parallel end faces, reduce the thinness of the material (risk of bending), and ensure position perpendicular to the machine axis.

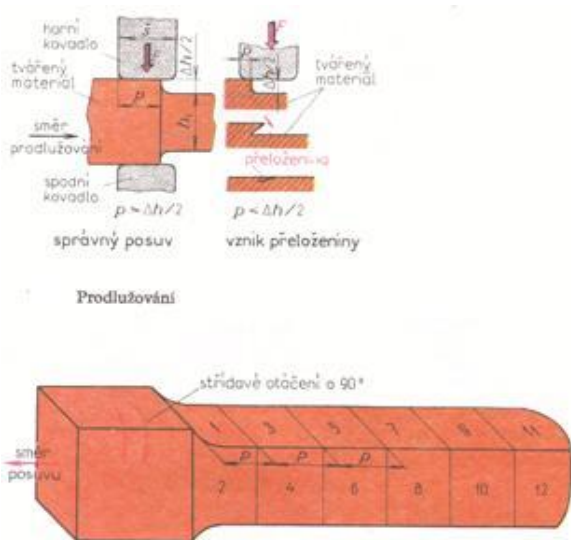


Upsetting of cylindrical semi-finished products

Legend: pěchování – upsetting, ingot - ingot, manipulační stopka – handling shank, výchozí tvar materiálu - starting shape of material, překováno na osmihran – forged into octagon, pěchovací deska – upsetting plate, spodní kovadlo – bottom die, stupeň prokování – forging degree

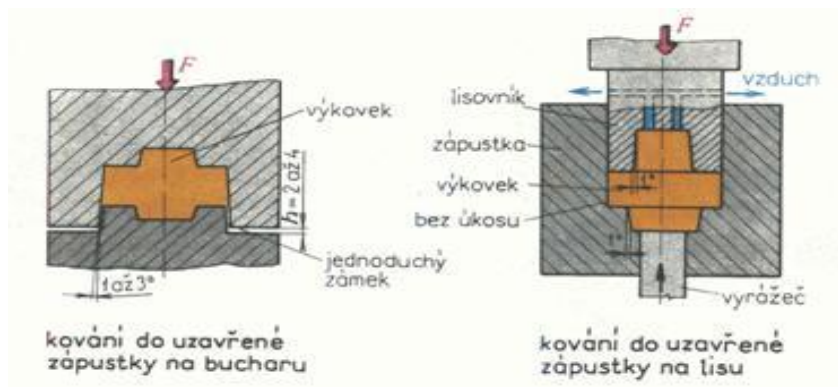
6.2. Fullering

- Another technology of open die forging is **fullering** (drawing out).
- It is the most widely-used forging operation, consisting in carrying out more upsetting operations side by side, thus extending and at the same time reduction of the cross-section.
- Semi-finished product is mostly turned by 90° and moved by distance p , thus compensating the expansion. The stroke p is always smaller than the width of the die s is.



6.3. Precision forging

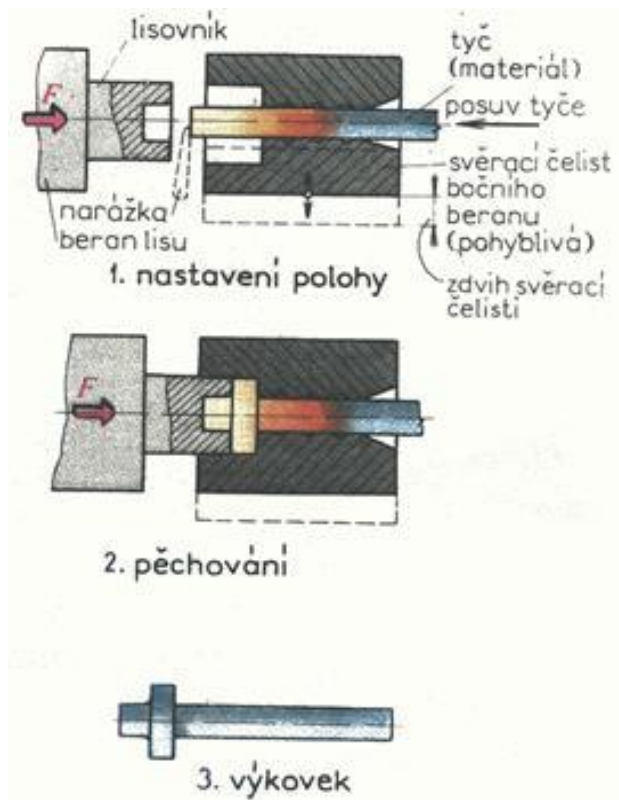
- Forgings with minimal machining allowances and bevels are made in closed dies by means of so-called **precision forging**.
- In the case of precision forging, the volume and centring of the material inserted into die must be strictly observed. Rotary shapes are most preferred.



Legend: výkovek – forging, jednoduchý zámek – simple lock, kování do uzavřené zápustky na bucharu - forging in closed die on hammer, lisovník - punch, zápustka - die, bez úkosu – without bevel, vyrážec - ejector, vzduch - air, kování do uzavřené zápustky na lisu – forging in closed die on press

6.4. Forging using horizontal forging press

- **Forging using horizontal forging press** enables a partial or complete automation of the process.
- It consists in using horizontal crank press suitable mainly for upsetting from bar material and working with closed dies.
- The principle is shown in the figure.
- It uses a closed three-piece die, forging is without flash. The cavity of the die is two-piece, divided by a vertical or horizontal plane, with a roughened passage for bar material. It acts as a chuck for the bar material when the two halves approach to each other. The third part (upsetting part) is inserted into the cavity in the axial direction.
- Principle: the bar is moved into the forging position, to the stop. This way the volume of the forged material is determined. Then the two-part block clamps the bar and moves the stop. In this phase, the protruding part of the bar is heated (nowadays it is most often inductively).
- After upsetting the heated end of the bar, the sliding blade separates the forging from the bar and the cycle is repeated.

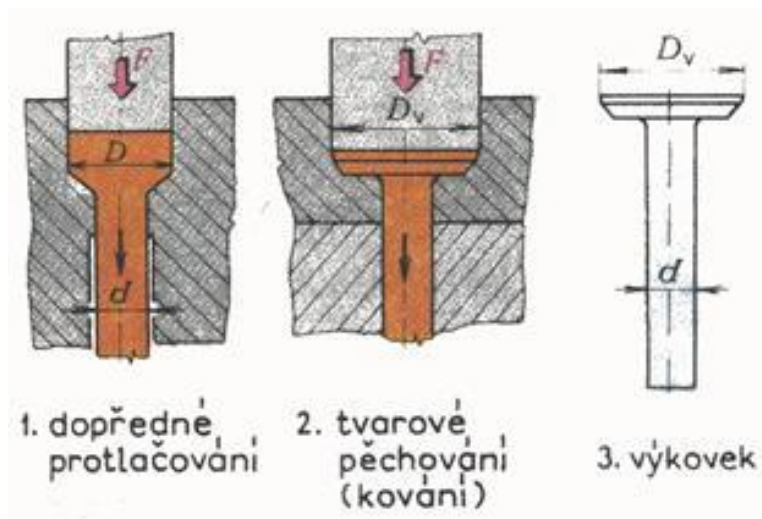


Forging using parallel forging press

Legend: lisovník - punch, narážka - stop, beran lisu - press beam, tyč (material) - bar (material), posuv tyče - movement of bar, svěrací čelist bočního beranu (pohyblivá) - clamping jaw of side beam (movable), zdvih svěrací čelisti - stroke of clamping jaw, nastavení polohy - positioning, pěchování - upsetting, výkovek - forging

6.5. Extrusion forging

- Another technological process is forging – hot **extruding**, when the formed material is pressed by extruder in a closed die.
- It is a combination of extruding and forging. This method is used for aluminium and copper alloys as well as for steel.
- It increases the ductility of metal, as the material is subjected to spatial pressure stress.
- It can be performed as forward extrusion, backward extrusion or combined extrusion. It is necessary to take into account also friction and high strength and heat resistance of the tools.

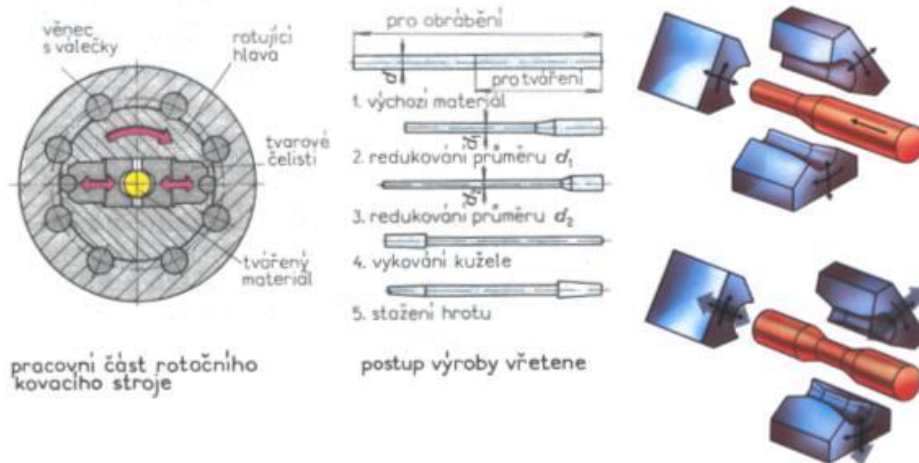


Legend: dopředné protlačování – forward extrusion, tvarové pěchování – shape upsetting, výkovek – forging

6.6. Rotating forging

- A special forging procedure is so-called **rotating forging**.
- It is used for reduction of cross-section to a smaller diameter or forging of a cylindrical shape from a square profile. Unlike other forming processes, rotating forging is cold, only for manufacturing components of bigger diameters, hot forging is used.
- It is included among forging methods because deformation is done by repeated thrusts.
- Principle: two radially movable dies are rotated. They are drifted towards the edge by means of centrifugal force. Here they impinge on hardened cylinders which give them a return impulse. This creates a repetition.
- The semi-finished product is rotated slowly and axially moved into the forming process.

Examples of rotating forging and methods of rotating are shown in the figures below

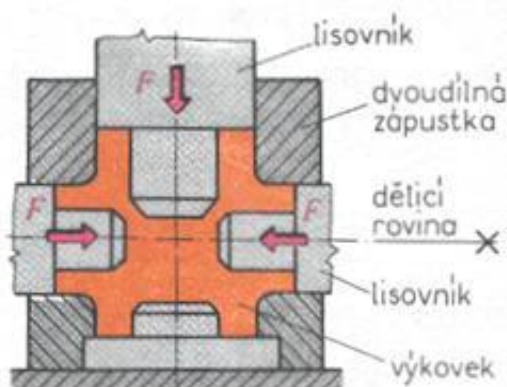


Rotating forging principle

Legend: věnec s válečky – rim with rollers, rotující hlava – rotating head, tvarové čelisti – forming jaws, tvářený materiál – formed material, pracovní část rotačního stroje – working part of rotary machine, pro obrábění – for machining, pro tvářeni – for forming, výchozí materiál – starting material, redukování průměru – reduction of diameter, vykování kužele – forging a cone, stažení hrotu – tip reduction, postup výroby vřetene – spindle manufacturing

6.7. Multidirectional forging

- The last special forging method is multidirectional forging.
- The material in the closed die is subjected to the pressure of the punch from several directions.
- Forging are precise, with minimum machining allowances.



Legend: lisovník – punch, dvoudílná zápustka – two-part die, dělicí rovina – separating plane, výkovek - forging

STATICS

1. Basic Statics Terms, Principles and Axioms

1.1. Basic terms

Rigid body

It refers to a perfectly rigid body. It is a figure, body where the distance between any two randomly selected points does not change due to the movement of the body.

Particle

Physical object whose dimensions are negligible. In statics, point it refers to the point of a rigid in which all the weight of the entire rigid is concentrated.

Force and moment

Force is a basic measure of two objects mutual effect. Force is a vector quantity. Force is a vector linked to a line.

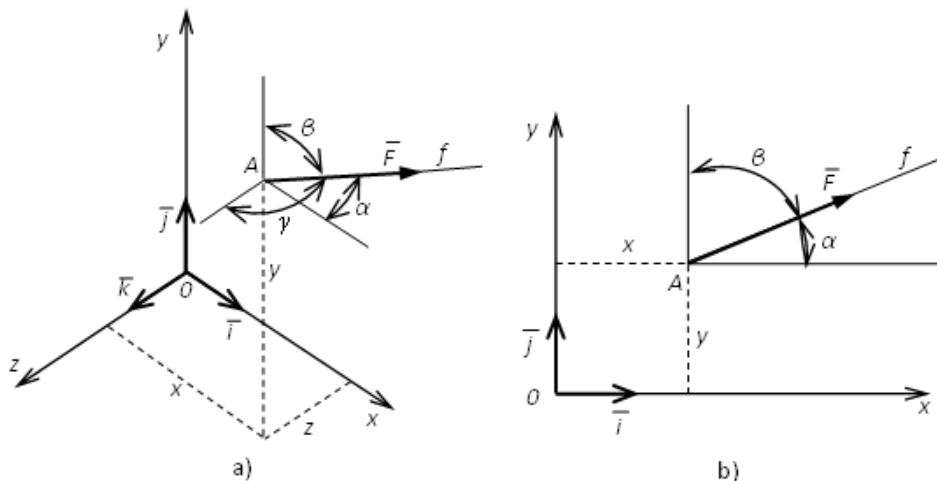


Figure 1.1

- Force in space (Figure 1.1a) is determined by 6 parameters: point of application $A(x, y, z)$ – 3 parameters, size F – 1 parameter, position f and direction – angles α , β , (y) – 2 independent parameters, since the angles are mutually linked as follows:

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1.$$

- Force in plane (Figure 1.1b) is determined by 4 parameters: A(x, y), F, α (β), since

$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$$

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta = 1.$$

Force effect

- Sliding – identical for all points of the object on which the force is acting. It is equal to the force,
- Rotational – different for different points of the object. The size of the rotational effect depends on the perpendicular distance between the point and the force bearer and is determined by the moment to the relevant point.

Moment – is a vector defined as a vector product $\underline{M} = \underline{r} \times \underline{F}$. Absolute size of moment to any point, e.g. A equals to the product of force and the moment arm – its perpendicular distance from this point (Figure 1.2).

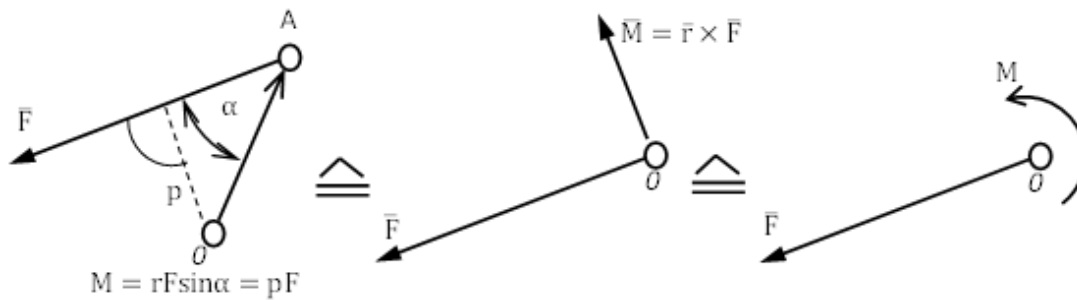


Figure 1.2

The direction of the moment vector is given by the direction of the rotation of the force \underline{F} to the point A. Moment is positive if the rotation is anticlockwise.

Moment vector is represented as a vector perpendicular to the plane of rotation. The direction of the vector is determined using the right hand rule (fingers of right hand show the direction of the rotation, thumb showing the direction of the vector \underline{M} (Figure 1.3).

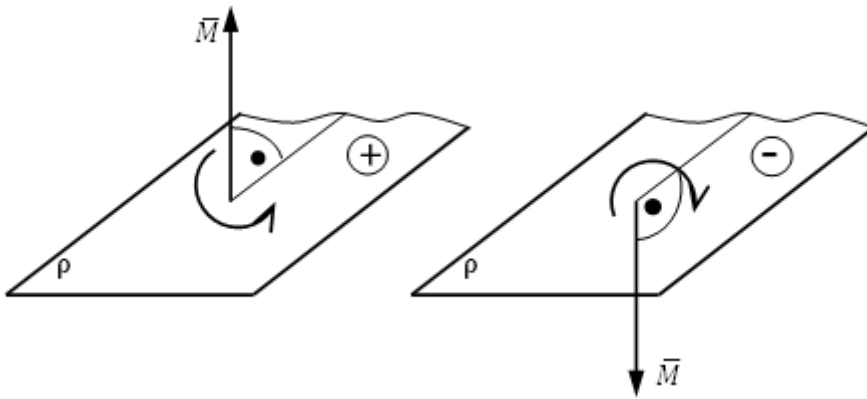


Figure 1.3

Force couple (pure moment) – two parallel forces, equal in magnitude x with different line of action. Force couple does not have sliding effect, only a rotational effect equal to the product of one force and the perpendicular distance between the forces. The effect of the force couple is given by its moment (Figure 1.4)

$$M = p F.$$

Vector of force couple momentum \underline{M} is a free vector, which means it could be freely moved in the space and is perpendicular to the plane of force couple action.

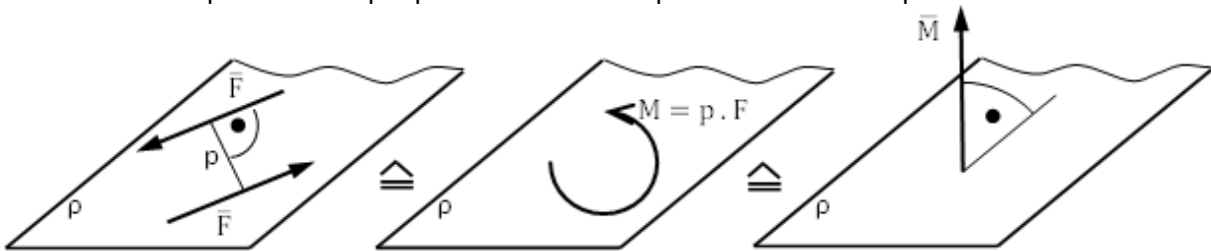


Figure 1.4

1.2. Force and moment units

The force unit is 1 Newton [N]. It is a force producing acceleration of 1ms^{-2} to 1 kg of weight, that is

$$1N = 1kg \cdot m \cdot s^{-2}.$$

The moment unit is $1N \cdot m$ [Nm]

1.3. Force systems

Two and more forces acting on one object create a force system.

- If a force system can be replaced by one force \underline{R} , this force is called the force sys-

tem resultant. A force system has a sliding effect in the direction of the resultant \underline{R} bearer (Figure 1.5).

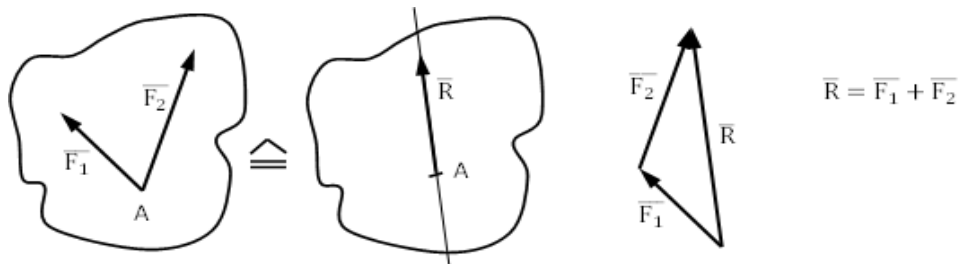


Figure 1.5

- If a force system can be replaced by one moment \underline{M}_v , this moment is called resulting moment of the given force system. The force system thus has a rotational effect in the plane perpendicular to the moment \underline{M}_v (Figure 1.6).

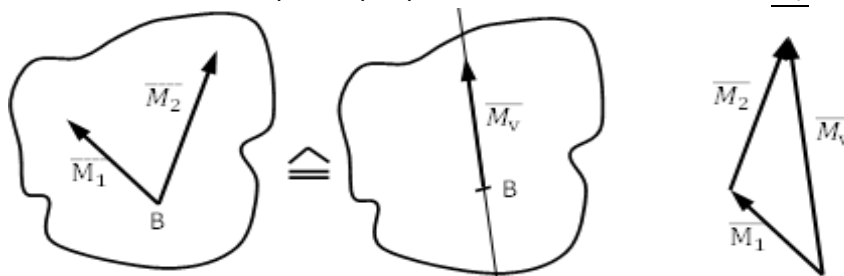


Figure 1.6

- In general, force system has both sliding and rotational effect.
- Force system is balanced if the resulting sliding and rotational effect is zero. The simplest balanced force system consists of two forces on one bearer, which are of equal magnitude and different direction (Figure 1.7).

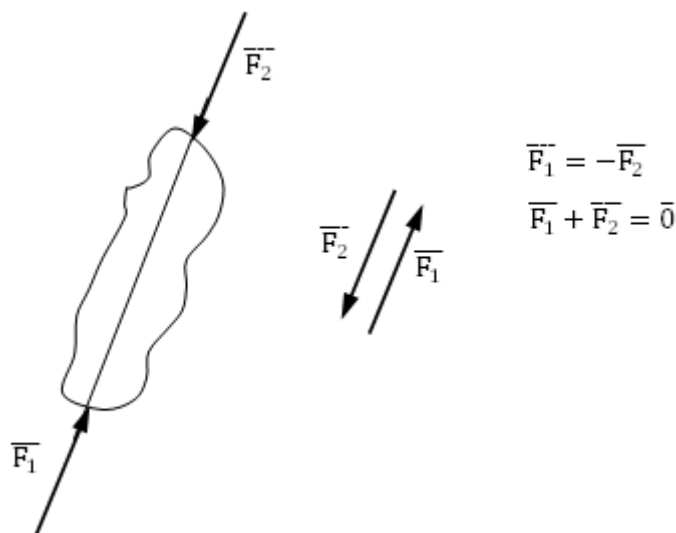


Figure 1.7

1.4. Classification of forces by acting

- External forces (Figure 1.8a), representing the effect of the surrounding objects on the examined object. These include the loading forces - primary (\underline{F}) and binding reactions - secondary (\underline{A}), depending on the loading forces,
- internal (Figure 1.8b), representing the effect of one part of a rigid (system) on another one ($\underline{N}_1, \underline{N}_1'$). Internal forces are caused by external forces.

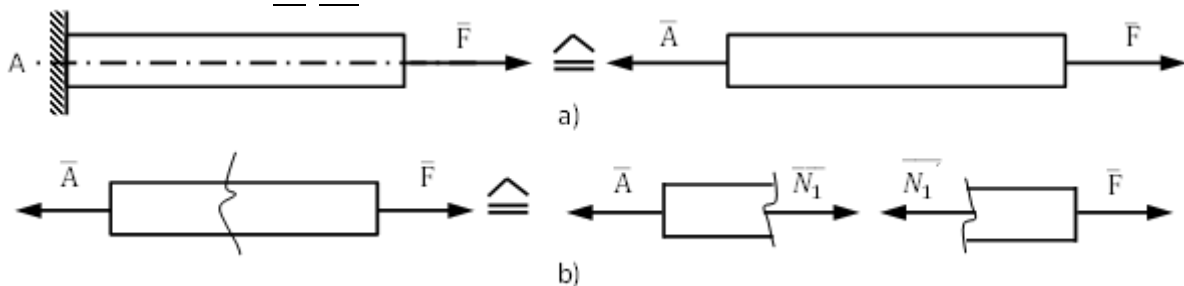


Figure 1.8

1.5. Decomposition of force, force components

Force \underline{F} in at a given point in a plane can be divided into two components $\underline{F}_1, \underline{F}_2$. If a force \underline{F} and directions of its components bearer are given (determined by angles α, β), we can determine the magnitude of the components $\underline{F}_1, \underline{F}_2$ (Figure 1.9). If a force \underline{F} is a resultant of the forces \underline{F}_1 and \underline{F}_2 , then $\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2$.

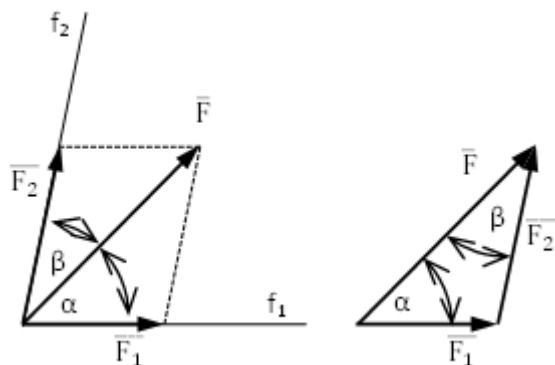


Figure 1.9

In the space, the forces can be divided into three components (Figure 1.10a).

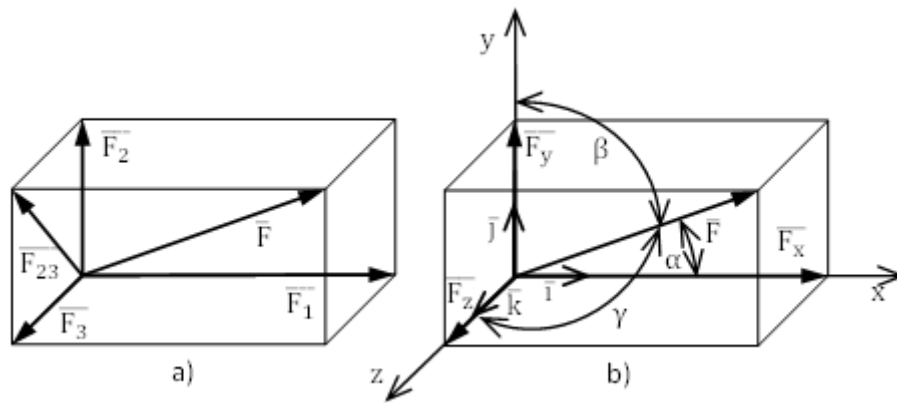


Figure 1.10

$$\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_{23}$$

$$\underline{F}_{23} = \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$

$$\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$

If the force components are mutually perpendicular, coordinate axes can be placed in their directions. They will be marked $\underline{F}_x, \underline{F}_y, \underline{F}_z$ and called right-angled components of the given force (Figure 1.10b).

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z$$

In a rectangular coordinate system, the magnitudes of the components are as follows:

$$F_x = \underline{F} \cdot \underline{i} = F \cos \alpha$$

$$F_y = \underline{F} \cdot \underline{j} = F \cos \beta$$

$$F_z = \underline{F} \cdot \underline{k} = F \cos \gamma$$

$\underline{i}, \underline{j}, \underline{k}$ - unit vectors

Components can be expressed as follows:

$$\underline{F}_x = F_x \underline{i}$$

$$\underline{F}_y = F_y \underline{j}$$

$$\underline{F}_z = F_z \underline{k}$$

Resulting force is described as follows:

$$\underline{F} = F_x \underline{i} + F_y \underline{j} + F_z \underline{k}$$

If we know the magnitude of the force components, its magnitude can be calculated as follows:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

And its direction can be determined by means of angles α, β, γ :

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F}, \cos \beta = \frac{F_y}{F}, \cos \gamma = \frac{F_z}{F}.$$

1.5.1. Varignon's theorem

Force moment to a given point equals to the sum of components moments to the same point. According to Figure 1.11 the moment of force \underline{F} to point 0 is $\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}$.

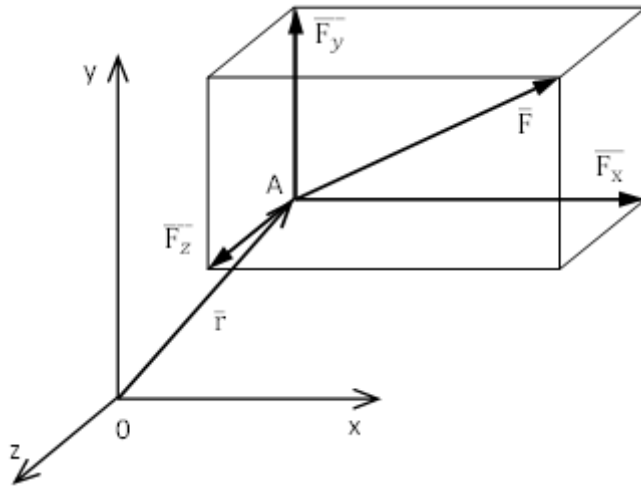


Figure 1.11

Moment of force \underline{F} to point 0 is $\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}$, because

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z,$$

$$\underline{M}_0 = \underline{r} \times (\underline{F}_x + \underline{F}_y + \underline{F}_z),$$

$$\underline{M}_0 = \underline{r} \times \underline{F}_x + \underline{r} \times \underline{F}_y + \underline{r} \times \underline{F}_z, \text{ a teda}$$

$$\underline{M}_0 = \underline{M}_{0F_x} + \underline{M}_{0F_y} + \underline{M}_{0F_z}.$$

1.6. Basic static principles and axioms

Axiom is a basic proposition that is accepted without evidence. Usually it is based on experimental experience.

Classical mechanics is based on three basic Newton laws:

- Law of inertia (1st Newton law)
- Law of force (2nd Newton law)
- Law of action-reaction (3rd Newton law)

Statics is based on the following axioms:

1.6.1. Axiom of inertia (1st Newton law)

An object which is at rest or uniform direct motion remains in this state if no external

force acts on it or if a balanced force system acts on it.

1.6.2. Axiom of action-reaction (3rd Newton law)

For every action, there is a reaction of the same magnitude and different direction. This means that the effect of one object to another is the same as the effect of the second object to the first, but with different direction (Figure 1.12).

$$\underline{F}_{12} + \underline{F}_{21} = 0$$

$$\underline{F}_{12} = -\underline{F}_{21}$$

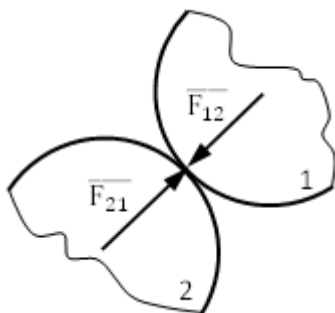


Figure 1.12

1.6.3. Axiom of preserving effect

The effect of a given force system does not change if a balanced force system is added or removed.

1.6.4. Axiom of forces composing

The resultant \underline{R} of two concurrent forces \underline{F}_1 and \underline{F}_2 equals to their vectors sum $\underline{R} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2$ and passes through the point of intersection of their lines of action (Figure 1.13).

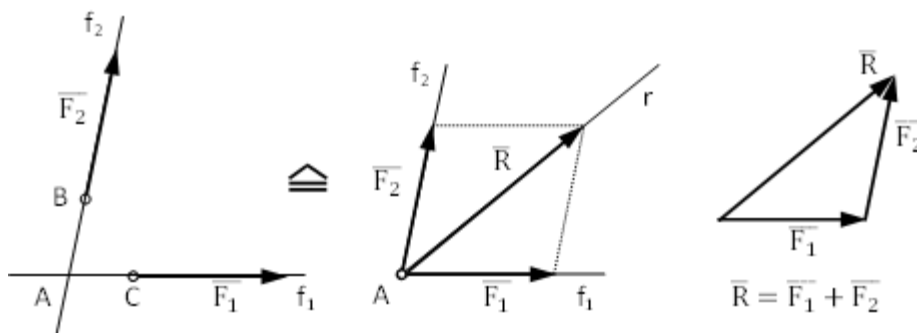


Figure 1.13

Example 1

At the beginning of the selected coordinate system $0, x, y$, force \underline{F} of magnitude $F = 6\text{kN}$ (Figure 1.1.1) is acting. The direction of the line of action of the force \underline{F} is given by the angle $\alpha = 30^\circ$. Divide the force \underline{F} into its components $\underline{F}_x, \underline{F}_y$, whose lines of action f_x, f_y are identical with the coordinate system axes x, y .

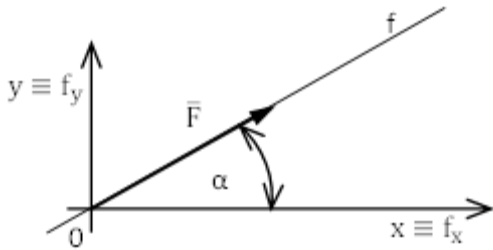


Figure 1.1.1

Solution: Dividing the force \underline{F} , which lies on the line of action f , whose compositions are replacements by the equivalent force system $\underline{F}_x, \underline{F}_y$, lying on the lines of action f_x, f_y . If the lines of action f_x, f_y are identical with the coordinate system axes x, y , then forces $\underline{F}_x, \underline{F}_y$ are coordinate components of force \underline{F} in a given coordinate system. The solution is based on the vector substitution condition (a), where the division of force \underline{F} can be done in several ways.

$$\underline{F} = \underline{F}_x + \underline{F}_y \quad (a)$$

Analytical solution:

- Solution by means of directional angles cosines α, β of the \underline{F} line of action of the force with the line of action of the force f_x, f_y (Figure 1.1.2)

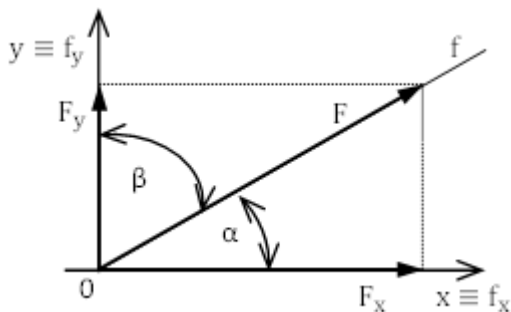


Figure 1.1.2

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

$$F_x = F \cos \alpha = 6 \cos 30^\circ = 5,196 \text{ kN}$$

$$F_y = F \sin \alpha = 6 \sin 30^\circ = 3 \text{ kN}$$

- Another solution is using trigonometric relations of a right triangle. According to Figure 1.1.3 for magnitudes \underline{F} , \underline{F}_x , \underline{F}_y it holds true that:

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F} \Rightarrow F_x = F \cos \alpha = 6 \cos 30^\circ = 5,196 \text{ kN}$$

$$\sin \alpha = \frac{F_y}{F} \Rightarrow F_y = F \sin \alpha = 6 \sin 30^\circ = 3 \text{ kN}$$

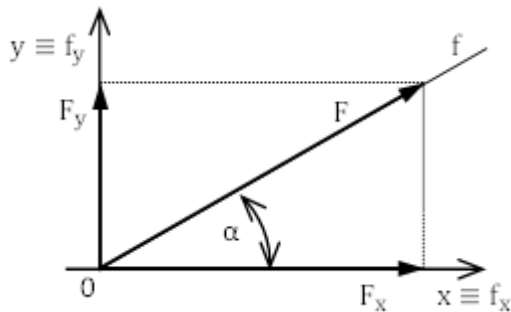


Figure 1.1.3

Graphic solution: Force \underline{F} can be replaced by the equivalent force system $\underline{F}_x, \underline{F}_y$. It is a graphical sum of force vectors in so-called free-body diagram, where force \underline{F} as a resultant of two concurrent forces with a common point of application, applied to a free-body diagram in any order, is an oriented line starting from the starting point of the first force and entering the end point of the second force.

The solution is based on Figure 1.1.4a, where we draw the known force \underline{F} and the parameters of the sought forces. In the case of forces $\underline{F}_x, \underline{F}_y$ their lines of action of the force are known. In this figure, it is important to draw correctly the vectors of the individual forces (their directions). Free-body diagram (Figure 1.1.4b) will be created as follows:

We apply force \underline{F} on the parallel with the line of action of the force f in appropriately chosen force magnitudes m_F . The starting and end point of the force \underline{F} vector are parallel lines with lines of action of the force f_x, f_y in any order. The result is a closed triangle, whose legs represent the magnitudes of the forces sought. The direction of these forces in the free-body diagram is opposite to the direction of their resultant \underline{F} . By measuring the length of the graphical representations of the forces sought and their comparing with the force measure generates the actual magnitude of these forces.

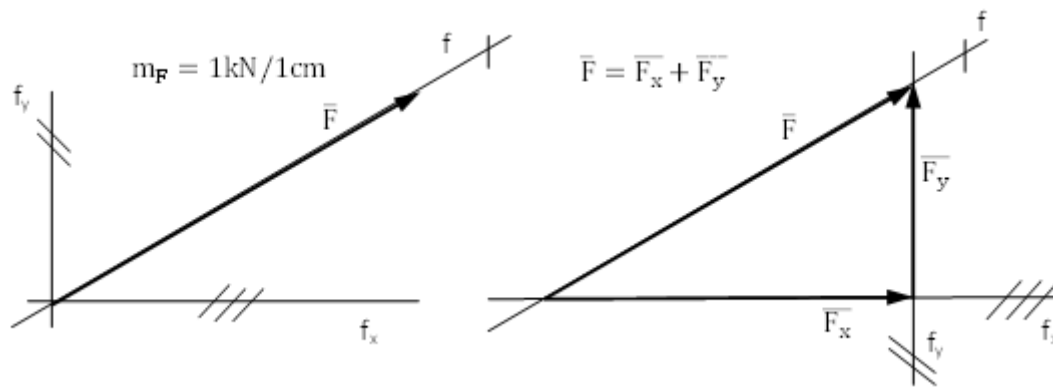


Figure 1.1.4

$$F_{xg} = 5,2\text{cm} \Rightarrow F_x = F_{xg} m_F = 5,2\text{kN}$$

$$F_{yg} = 3\text{cm} \Rightarrow F_y = F_{yg} m_F = 3\text{kN}$$

2. Mobility and links of material objects

2.1. Links and links dependency

Force systems act on specific material object (particle, rigid body, system of rigid bodies, system of particles). Material objects can be placed freely in plane or in space, that is, with an unlimited possibility to move, or are linked by links that reduce their ability to move. In these links forces are generated – so called links reactions.

The links by which the system is attached to a stationary rigid body – so-called frame, are external links and reactions arising in them are external reactions (Figure 2.1).

If a mechanical system (system of rigid bodies, particles) consists of several objects, the links between them are inner links and reactions in them are internal reactions.

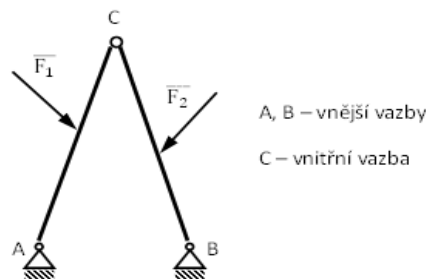


Figure 2.1

The links reduce the mobility of material objects, while the individual types of links can prevent only certain object movements. The binding reactions (secondary forces) induced by object loading by external, loading (primary) forces, they can act only in the direction in which the links are able to prevent the movement.

If the link prevents the movement only on one side, it is referred to as a unilateral binding (or force). Figure 2.2a shows an example of link by one-sided bracing, Figure 2.2b shows an example of a rope link.

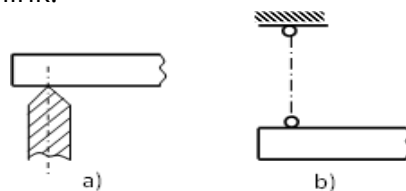


Figure 2.2

If the link prevents the movement on both sides, it is referred to as a bilateral link. Figure 2.3a shows an example of a double-sided binding, Figure 2.3b shows an example of vazby prutem.

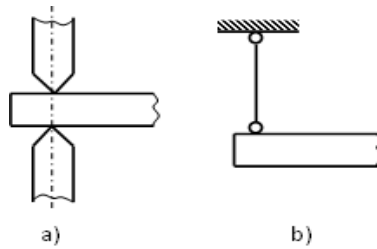


Figure 2.3

2.2. Degrees of freedom of movement and link dependency of rigid bodies

The number of degrees of freedom is a number of all independent parameters, which determine the object position in a plane or space. It also expresses the number of possible movements the given object can execute in a plane or space.

Mobility or immobility (kinematic determinacy) of a material object is assessed by its link dependency:

$$i = v - u$$

where: i – is a number of degrees of freedom of a material object

v – is a number of degrees of freedom of a free, not linked object

u – is a number of degrees of freedom removed by links

2.3. Kinematic and static determinacy

When assessing kinematic determinacy, i.e. mobility or immobility of a material object, the link dependency is expressed as follows:

- $i = v - u = 0$, the task is kinematically determinate. Links reduce all possibilities of movement, the position of the object is predetermined.
- $i = v - u > 0$, the task is kinematically indeterminate. Links reduce less degrees of freedom of a free object. The position of an object can change.
- $i = v - u < 0$, the task is kinematically overdetermined. Links reduce more degrees of freedom, its position is overdetermined.

By analysing static determinacy it is possible to assess whether there is a sufficient number of conditions, i.e. conditions for equilibrium to determine the unknown parameters of link reactions. Since $v = r$; $u = n_p$, it holds true that $i = i_s$, we can simultaneously assess both kinematic and static determinacy of tasks:

$i = i_s = v - u = r - n_p$

- > the task is kinematically indeterminate, statically overdetermined
- = 0 the task is kinematically and statically determined
- < the task is kinematically overdetermined, statically indeterminate

where: i_s – degree of static determinacy

r – number of independent conditions of equilibrium

n_p – number of unknown parameters of link reactions

Statically indeterminate ÚLOHA cannot be solved only by using static methods. Such tasks are solved in terms of flexibility and strength, which determine other, so-called deformation conditions.

3. Particle in plane

3.1. Degree of freedom and link dependence of particle in plane

The position of free particle M in the plane determined by the coordinate system 0, x, y (Figure 2.4) is determined by two independent parameters x_M, y_M . Particle thus has two degrees of freedom of movement $v = 2$, that is, is able to perform two independent movements (placement of axes x and y) and link dependence is:

$$i = v - u = 2 - u \quad \begin{matrix} > \\ = 0 \\ < \end{matrix}$$

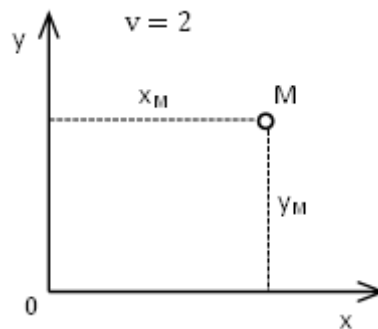


Figure 2.5

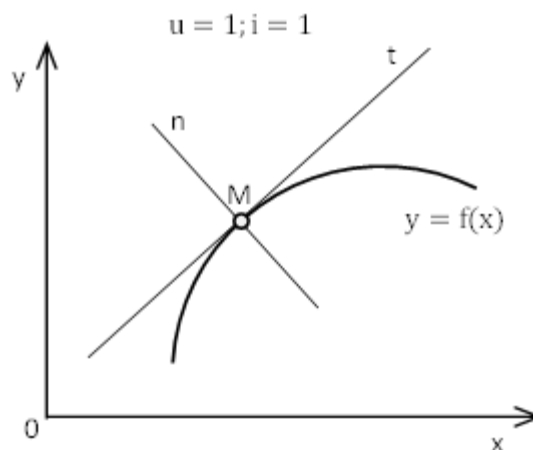


Figure 2.4

3.2. Links of particle in plane

Particle in the fix plane to the curve $y = f(x)$ can move only tangentially (see Figure 2.5). The movement in the direction of the normal is reduced, therefore the possible link reactions in particle loading is a normal reaction. The position of the particle is determined by one data, e.g. by coordinate x_M ; $[y_M = f(x_M)]$; therefore the particle linked to planar curve has at least one degree of freedom of movement.

$$u = 1; i = 2 - u = 2 - 1 = 1$$

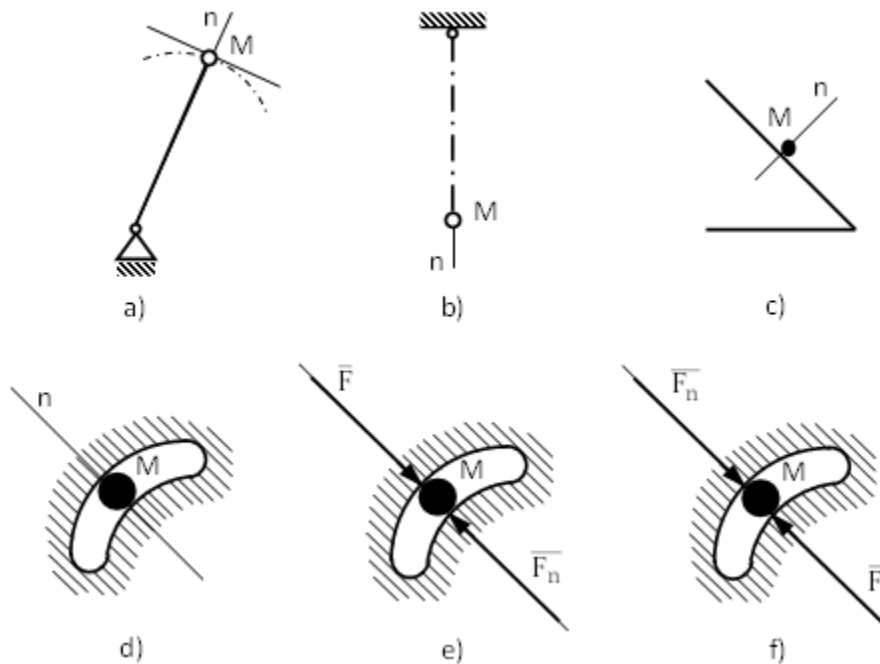


Figure 2.6

A particle can be linked to one planar curve by a bar (Figure 2.6a), or groove, e.g. sliding block (kámen v kulise) (Figure 2.6d). Such VAZBY are bilateral (forced), and can produce a reaction to both directions (Figure 2.6e,f). Rope links (Figure 2.6b) and linkage by leaning (Figure 2.6c) take away one degree of freedom of movement from the particle in the plane, but only on one side. These are referred to as unilateral (force) links.

Particle linked to two curves at the same time (Figure 2.7a) has been taken 2 degrees of freedom of movement and has no possibility to move. Such a link can be realized e.g. by two bars (Figure 2.7b).

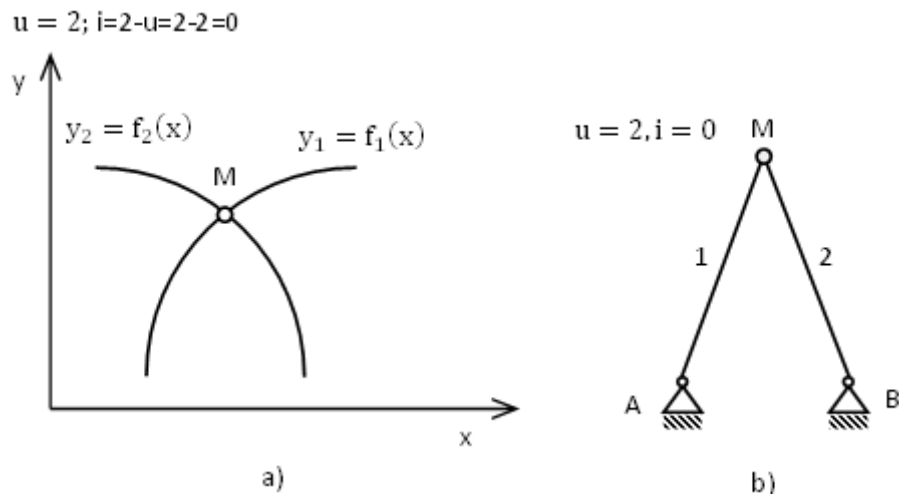


Figure 2.7

3.3. Particle in space

3.3.1. Degrees of freedom and link dependence of particle in space

The position of a free particle M in the space is determined by 3 parameters. In orthogonal coordinate system 0, x, y, z these are the following three coordinates: x_M , y_M , z_M (Figure 2.8). A free particle has three degrees of freedom of movement in the space ($v = 3$), which means it can perform three independent movements (moving in the direction of the axis x, y, z) and its link dependence is as follows:

$$i = v - u = 3 - u = 0$$

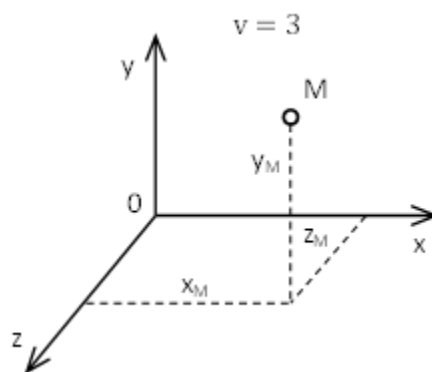


Figure 2.8

3.3.2. Links of particle in space

A rigid body in space can be linked to surface (Figure 2.9a), e.g. by a bar or a rope to a round surface (Figure 2.9b), placing on a plane (Figure 2.9c) etc. This way we take away one degree of freedom in the direction of the normal to the surface, or in the direction of a rod.

$$u = 1, i = 3 - u = 3 - 1 = 2$$

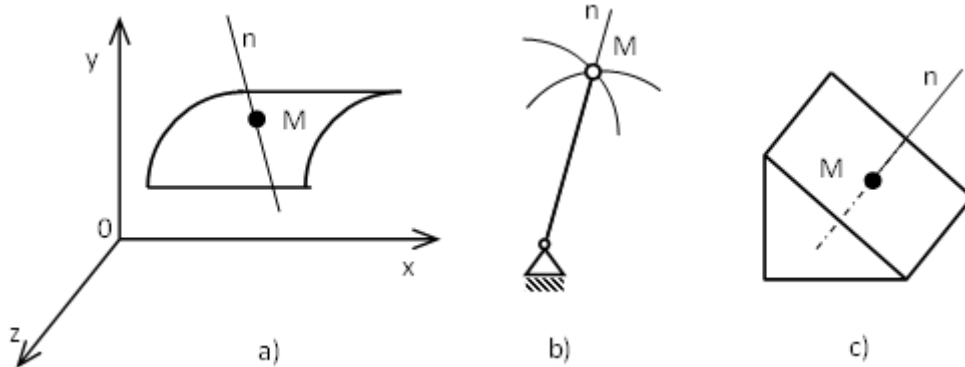


Figure 2.9

If we connect a particle in the space to two surfaces (Figure 2.10a), we will take away two degrees of freedom of movement. It is actually connected in the intersection, i.e. to the spatial curve. A realization of this link is e.g. by two bars (Figure 2.10b).

$$u = 2, i = 3 - u = 3 - 2 = 1$$

By connecting a particle to three surfaces that intersect in a given point, all three degrees of freedom are removed. This is e.g. link by three bars that must not lie in the same plane. They must create so-called bearing block (Figure 2.11).

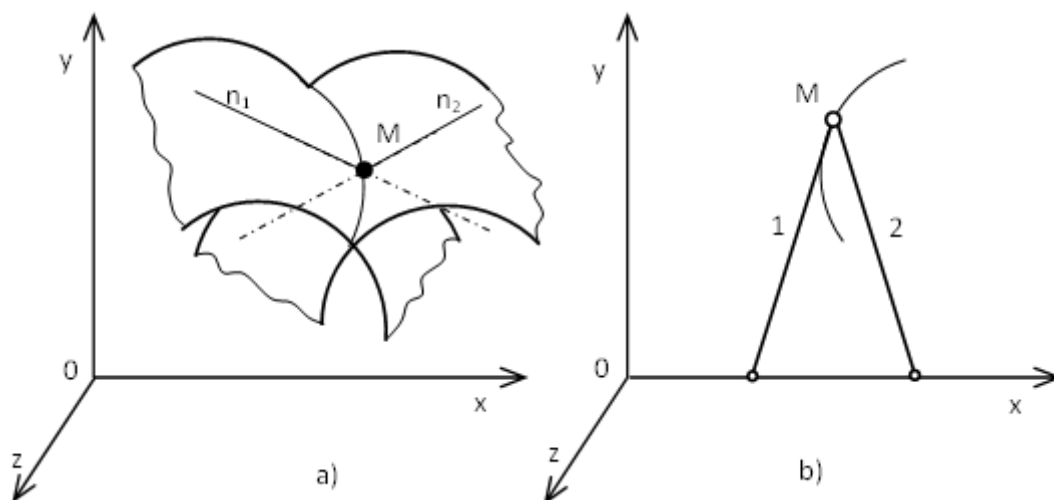


Figure 2.10

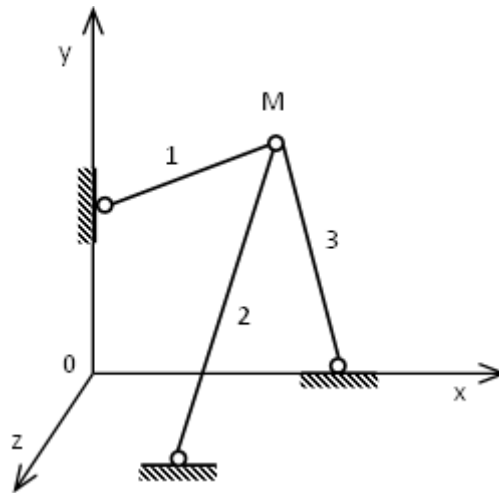


Figure 2.11

3.4. Rigid body in plane

3.4.1. Degrees of freedom of rigid body in plane

The position of a rigid in the plane $(0, x, y)$ is determined by three parameters. These can be coordinates of point A (x_A, y_A) and angle φ of the line joining A and B (Figure 2.12), or two coordinates of point A and one coordinate of point B. The second coordinate of point B is given by the fact, that the distance \underline{AB} is constant.

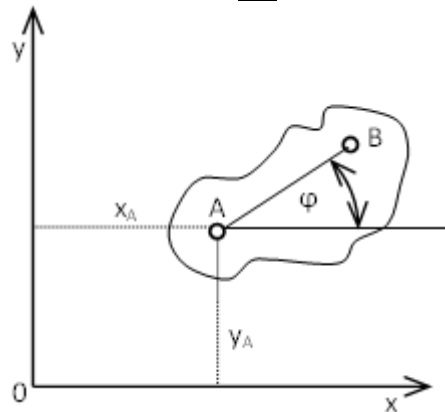


Figure 2.12

A free rigid in the plane can perform three independent movements: movement in the direction of the coordinate axes x and y and rotation around any point (A or B). A rigid body in the plane has three degrees of freedom of movement and its link dependence is expressed as follows:

$$i = v - u = 3 - u \quad \begin{matrix} > \\ = 0 \\ < \end{matrix}$$

3.4.2. Links of body in the plane

By the individual links, it is possible to remove one, two or three degrees of freedom. In each link a linking reaction can arise, depending on the type of load force system.

Links that leave certain mobility are referred to as kinematic couples. They can be kinematic couples of first ($u = 1$), or second class ($u = 2$).

Higher, general kinematic couple removes one degree of freedom ($u = 1$).

In a (linkage by leaning), one rigid particle leans by its edge against the surface of other particle, while the surfaces of the rigid particles shall be perfectly rigid. Removed possibility of movement and possible reaction are in the common normal (Figure 2.13a).

One degree of freedom of movement is removed by means of another rigid particle, so-called Binary member. Binary member serves as a linking agent between a frame and a particle with which it is connected by rotational or sliding link. It is not loaded by any external forces, only reaction of a particle and frame lying on the same force bearer are acting on it being of the same magnitude and opposite direction. Such binary members, used as links of a particle to a frame are:

- Sliding bearing (Figure 2. 13b) – joint on one side, movable linkage on the other side. The common bearer must pass over the joint. Link must be unilateral or bilateral.
- Bar (Figure 2.13c) – joints on both sides, common bearer is in their link. The link is bilateral, the bar can be drawn or pushed (Figure 2.13d).

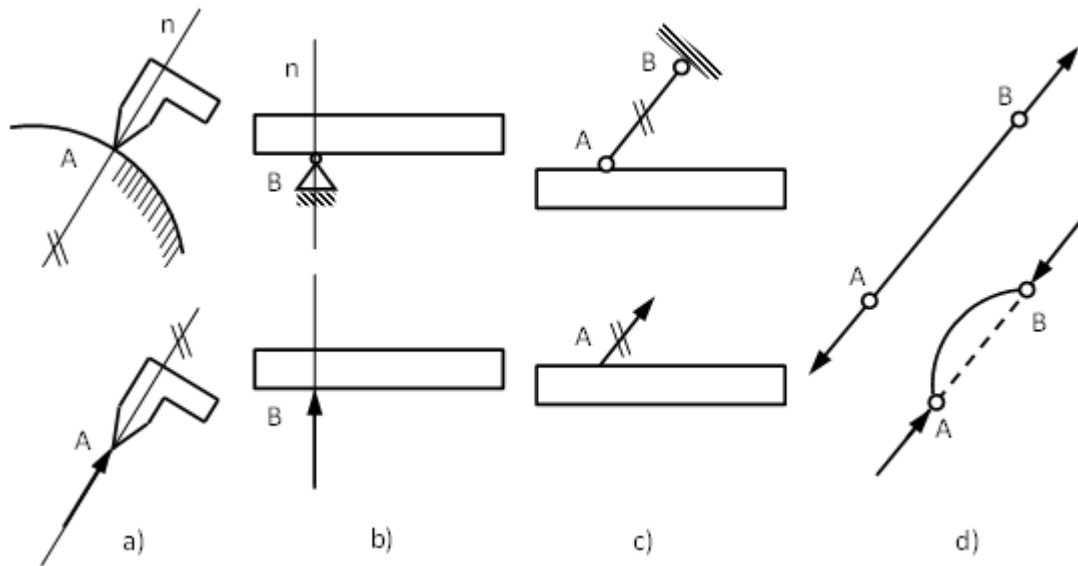
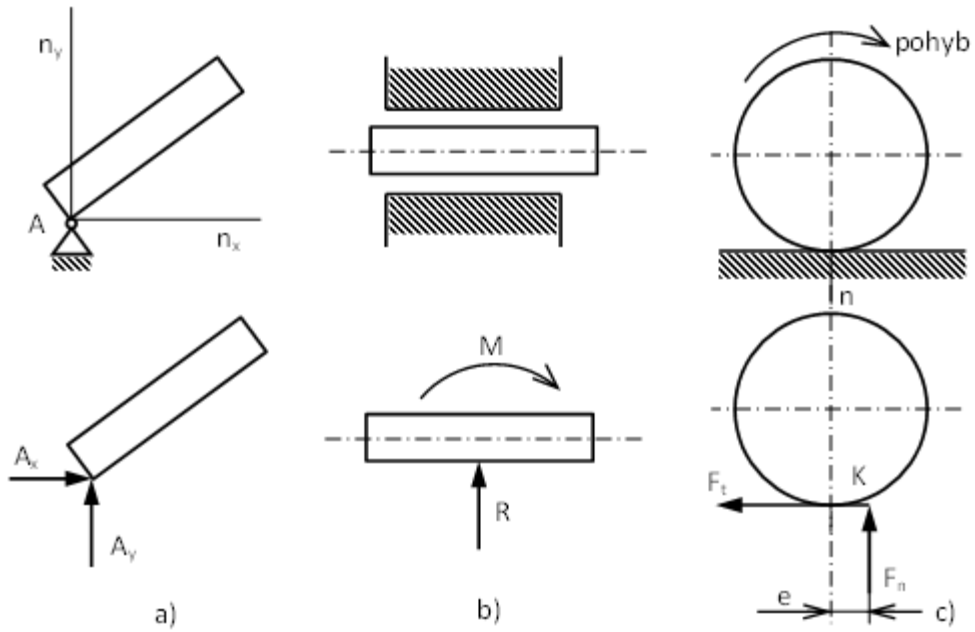


Figure 2.13

Lower kinematic couplings ($u = 2$) remove two degrees of freedom of movement. They include the following links:

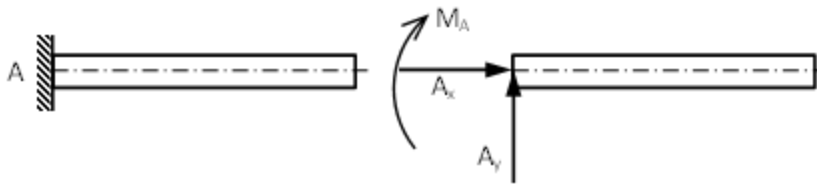
- Rotational link (joint) (Figure 2.14a) removes two movements in the direction of axes x and y . Two parameters are unknown, e.g. magnitude and direction of the reaction. The link leaves the particle a possibility to rotate around the fixed centre of the A rotation.
- Slider link (Figure) leaves a possibility of movement in one direction and removes a possibility of movement in a perpendicular direction and the possibility of rotation in the plane. The unknown parameters are force and moment magnitude.
- Rolling link (Figure) is determined by friction between the particles, removes the possibility of two movements – in the direction of a normal and tangent (reaction F_N a F_T), enables a rolling motion without shear, that is, a possibility of rotation of the particle.

$$u = 2, i = 3 - u = 3 - 2 = 1$$



A particle can be rigidly fixed with other particle, e.g. with a frame by means of so-called restraint (Figure 3.7), which removes all three degrees of freedom of movement from the particle in the plane.

$$u = 3, i = 3 - u = 3 - 3 = 0$$

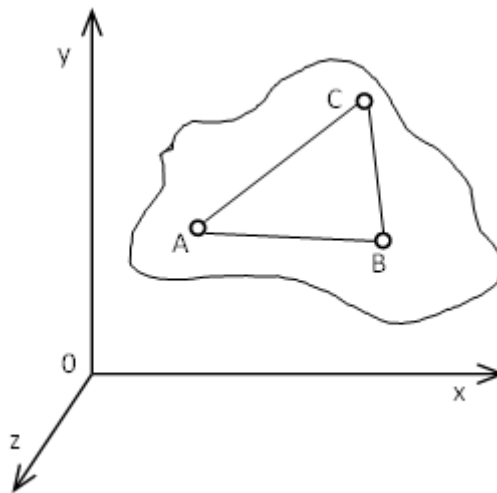


4. Rigid in space

4.1. Degrees of freedom and linkage dependency of particle in space

The position of a rigid in the space $0, x, y, z$ is determined by six parameters. These can be 3 coordinates of point A, two coordinates of point B and one coordinate of point C (Figure). Other coordinates of points B and C are linked by fixed distances between the points. For a particle in the space it is $v = 6$. A free particle in the space has a possibility of six independent movements: movement in the direction of axes x, y and z , and rotation around these three coordinate axes. It has six degrees of freedom of movement and its linkage dependency is as follows:

$$i = v - u = 6 - u \quad \begin{array}{l} > \\ = 0 \\ < \end{array}$$



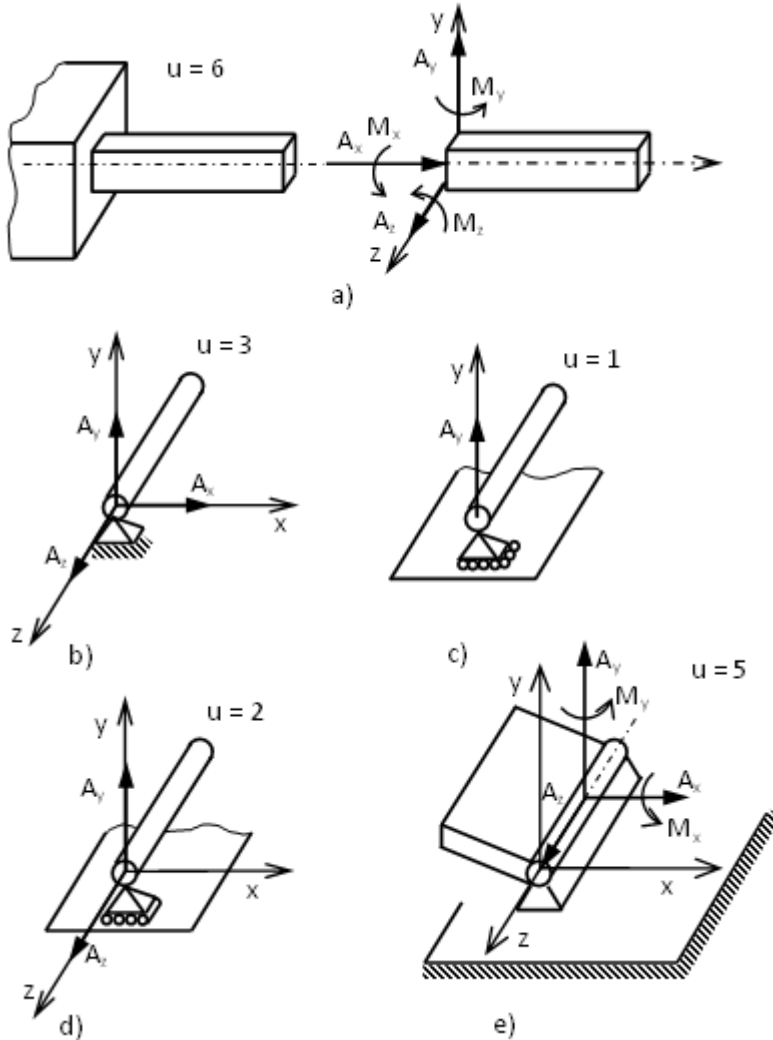
4.2. Links of body in the space

According to the type of link, it is possible to remove 1 – 6 degrees of freedom of movement. The Figure shows individual types of links of a body in the space with marked changes that can occur after loading the body:

- One degree of freedom of movement ($u = 1$) is removed by link by sliding bearing on rollers (Figure c) and a link by a bar.
- Two degrees of freedom of movement ($u = 2$) are removed by link by sliding bearing on pins (Figure d).
- Three degrees of freedom of movement ($u = 3$) are removed by link by spatial

joint (Figure b)

- Five degrees of freedom of movement ($u = 5$) are removed by so-called link by cylindrical joint (Figure e)
- Fixed link – by restraint (Figure a), we remove all six degrees of freedom of movement ($u = 6$).

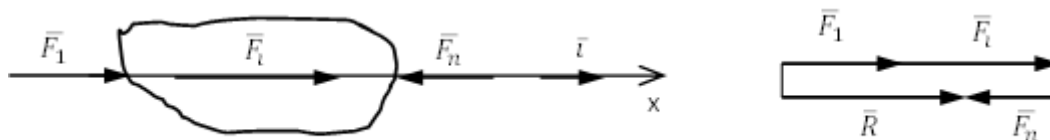


5. Coplanar force systems, particle equilibrium

5.1. Linear force system – LFS

5.1.1. Replacing linear force system

If all forces act in one line on the given object, they can be replaced by one force \underline{R} (resultant), whose line of action is identical with the line of action of all the forces. The axis x with a unit vector \underline{i} represents a line of action of force \underline{F}_i (Figure).

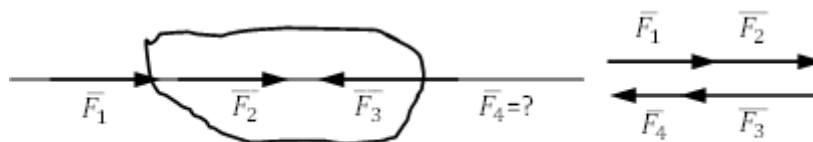


If $\underline{R} = R \cdot \underline{i}$, $\underline{F}_i = F_i \cdot \underline{i}$, then $R \cdot \underline{i} = \sum F_i \cdot \underline{i}$. The resultant magnitude equals to algebraic sum of forces $\underline{R} = \sum \underline{F}_i$.

5.2. Equilibrium of linear force system

The condition of LFS equilibrium is $\underline{R} = \underline{0}$, that is $\sum \underline{F}_i = \underline{0}$.

In the graph, this equation is marked as a closed, so-called SILOVÝ OBRAZEC (Figure).



In analytical solution, the equilibrium condition is expressed in scalar form by one force equilibrium condition $R = 0$, that is $\sum F_i = 0$.

LFS equilibrium can also be expressed using condition of moment to any point B (Figure), which does not lie on the line of action of the LFS.

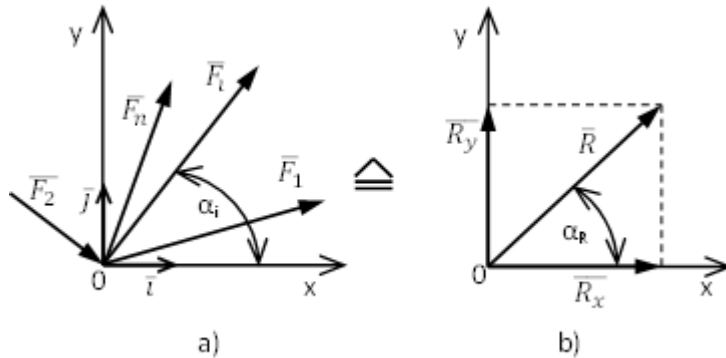
$$\sum M_{iB} = p \sum F_i = 0$$

For linear force system, there is only one independent static condition, that is, from static equilibrium conditions only one unknown parameter can be calculated.

5.3. Central planar force system CPFS

5.3.1. Replacing central planar force system

All forces \underline{F}_i of the given force system pass through point 0 and lie in one plane 0, x, y (Figure a). This way the force system can be replaced by resultant $\underline{R} = \underline{S}$, which passes through point 0 (Figure b).



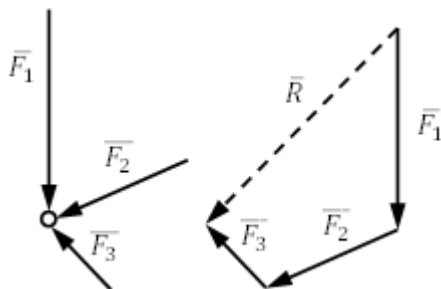
$$\underline{R} = \sum \underline{F}_i$$

After expressing the force vectors by means of their components, the resultant is $R_x \cdot \underline{i} + R_y \cdot \underline{j} = \sum F_{ix} \cdot \underline{i} + \sum F_{iy} \cdot \underline{j}$.

- If we multiply the equation $R_x \cdot \underline{i} + R_y \cdot \underline{j} = \sum F_{ix} \cdot \underline{i} + \sum F_{iy} \cdot \underline{j}$ by scalar unit vectors \underline{i} and \underline{j} , the conditions of replacing CPFS are expressed by two scalar equations: $R_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$ and $R_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \sin \alpha_i$. The magnitude and direction of the resultant is thus $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$, $\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}$.
- In the graph, the resultant \underline{R} passes through the central of forces 0 (Figure) and it is determined by their vector sum in so-called force pattern.

$$\underline{R} = \sum \underline{F}_i$$

$$\underline{R} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \underline{F}_3$$



6. Central planar force system equilibrium

The equilibrium condition is $\underline{R} = \underline{0}$, that is $\sum \underline{F}_i = \underline{0}$.

- In analytical solution, two independent equilibrium conditions can be expressed by either two component equations or the component equations can be replaced by momentum (using Varignon's theorem).

- 1st alternative: component equations

$$R_x = 0, \text{ that is } \sum F_{ix} = 0$$

$$R_y = 0, \text{ that is } \sum F_{iy} = 0$$

2nd alternative: momentum equations

$$(\sum M_i)_A = 0$$

$$(\sum M_i)_B = 0$$

Points A, B and central of forces O must not lie on one line!

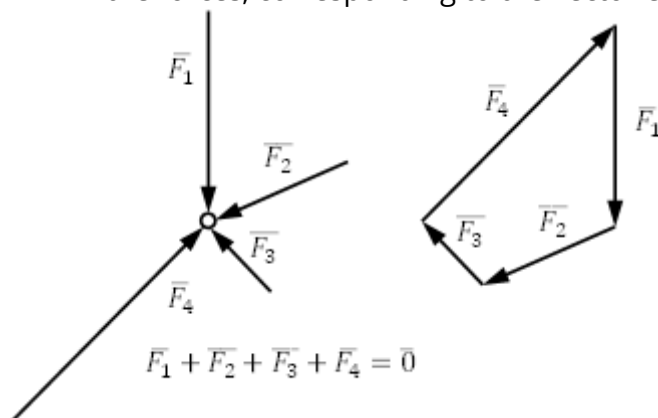
- 3rd alternative: 1 component and 1 momentum equation

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$(\sum M_i)_B = 0$$

- Point B must not lie on the axis x! The joining line of central of forces with point B must not be perpendicular to the axis in which the forces are represented.

- In graph solution (Figure) the basis is the condition of closing force pattern with the forces, corresponding to the vector equilibrium condition $\underline{R} = \underline{0}$.

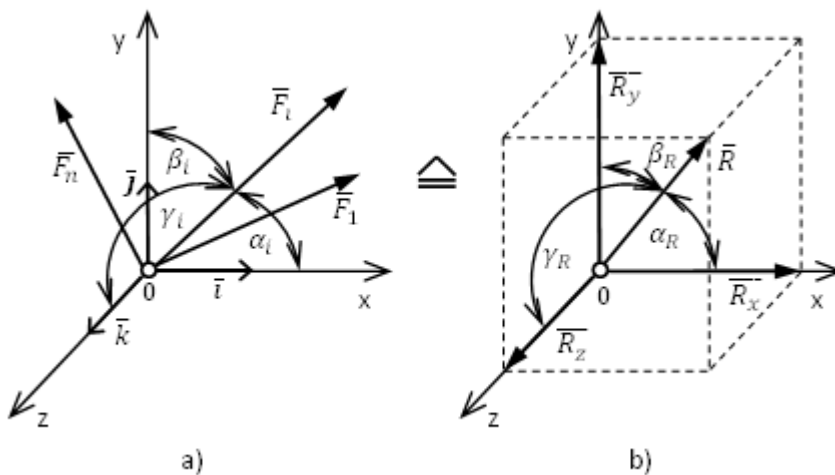


For CPFS only two static conditions can be written from which we can calculate two unknown parameters.

6.1. Central spatial force system – CSFS

6.1.1. Replacing central spatial force system

At one point, central spatial force system n is acting. Each force of this system is determined by its magnitude and direction (Figure a). All forces can be replaced by one force, the resultant \underline{R} (Figure b), which must pass through the common central of forces. Force \underline{R} as a resultant completely replaces the given CSFS.



In a rectangular coordinate system $0, x, y, z$, the resultant \underline{R} can be divided into the components

$\underline{R}_x, \underline{R}_y, \underline{R}_z$ (Figure).

$$\underline{R} = \underline{R}_x + \underline{R}_y + \underline{R}_z$$

The conditions for replacing CSFS are relations for determining the resultant:

$$R_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$$

$$R_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \cos \beta_i$$

$$R_z = \sum F_{iz} = \sum F_i \cos \gamma_i$$

The resultant magnitude is $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$.

The position of the resultant is calculated as: $\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}$, $\cos \beta_R = \frac{R_y}{R}$, $\left(\cos \gamma_R = \frac{R_z}{R} \right)$.

6.1.2. Central spatial force system equilibrium

CSFS will be balanced if the resultant \underline{R} is zero. (This indicates that the resulting sliding and rotational effect to any point in the space equals zero).

- **1st alternative: component equation**

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$\sum F_{iz} = 0$$

- **2nd alternative: momentum equations**

On the basis of Varignon's theorem, the equilibrium conditions can be expressed also by momentum equations with regard to any axes in the space.

$$\left(\sum M_i\right)_a = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_b = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_c = 0$$

Neither of the axes a, b, or c can pass through the common central of the force system, and the axes a, b, c cannot meet in one point or be parallel to each other.

- **3rd alternative: 2 momentum and 1 component equation**

$$\left(\sum M_i\right)_a = 0$$

$$\left(\sum M_i\right)_b = 0$$

$$\sum F_{ix} = 0$$

The axes a, b must not pass through the central of the force system. They cannot intersect in the plane passing through the central of the CSFS and is perpendicular to axis x. The axes a, b must not be parallel if they are at the same time parallel with the axis mentioned above.

- **4th alternative: 2 component and 1 momentum equation**

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

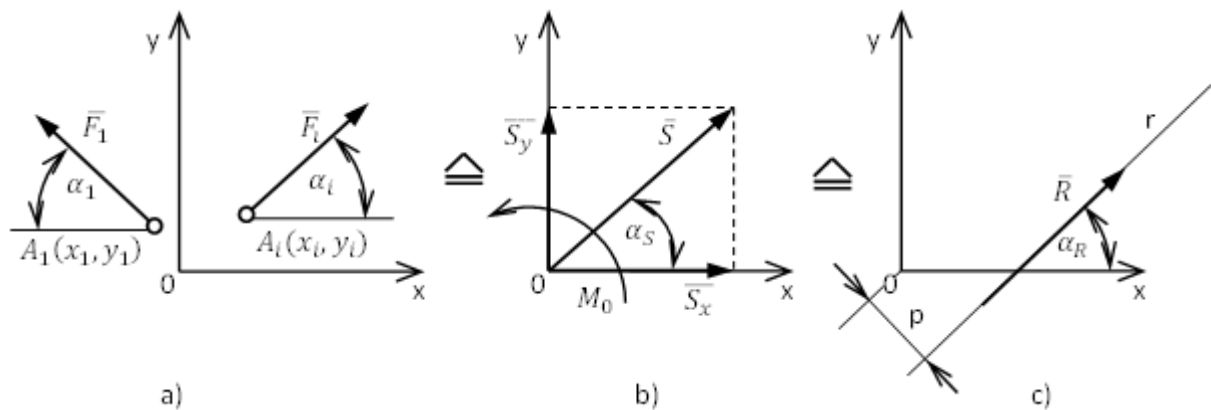
$$\left(\sum M_i\right)_a = 0$$

The axis a cannot pass through the central of the CSFS and must not be perpendicular to the space determined by the axes x, y.

Like in the plane, in the space in terms of analytical solution we always assume the orientation of unknown forces. If the result is positive (+), the orientation/ direction assumed was right, if it is negative (-), the actual orientation of the force is opposite to the assumed one.

7. General force systems. Parallel force systems. Equilibrium of rigid bodies

7.1. General planar force system. Analytical solution



General planar force system consists of forces distributed in the plane (e.g. in plane x, y shown in Figure a). The effect of each force \underline{F} at the beginning of a coordinate system $0, x, y$ will be both sliding \underline{F}_i and rotational \underline{M}_{i0} . The resulting sliding and rotational effect of the force system to the starting point in point 0 will be (Figure):

$$\underline{S} = \sum \underline{F}_i$$

$$\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0}$$

There can be the following cases:

- $\underline{S} \neq \underline{0}, \underline{M}_0 \neq \underline{0}$ - the system resultant is \underline{R} - not passing the point 0
- $\underline{S} \neq \underline{0}, \underline{M}_0 = \underline{0}$ - the system resultant is \underline{R} - passing through the point 0
- $\underline{S} = \underline{0}, \underline{M}_0 \neq \underline{0}$ - the system is replaced by force couple in plane x, y
- $\underline{S} = \underline{0}, \underline{M}_0 = \underline{0}$ - conditions of GPFS equilibrium

7.2. Replacing GPFS at selected starting point

Magnitude of momentum M_{i0} is expressed using Varignon theorem (Figure a)

$$M_{i0} = x_i F_{iy} - y_i F_{ix}$$

GPFS at the chosen starting point \acute{e} (Figure b) can be replaced by three scalar equations:

$$\begin{aligned} S_x &= \sum F_{ix} & F_{ix} &= \sum F_i \cos \alpha_i \\ S_y &= \sum F_{iy} & F_{iy} &= \sum F_i \sin \alpha_i \\ M_0 &= \sum M_{i0} & M_{i0} &= \sum (x_i F_{iy} - y_i F_{ix}) = \sum F_i (x_i \sin \alpha_i - y_i \cos \alpha_i) = \sum F_i p_i \end{aligned}$$

7.3. Replacing GPFS by a resultant

\underline{S} and \underline{M}_0 is replaced by the resultant \underline{R} , where $R = S$ and $\alpha_S = \alpha_R$, shifted from the starting point 0 by distance p (Figure c). Magnitude of resultant is calculated as follows:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \text{ where}$$

$$R_x = S_x = \sum F_{ix}$$

$$R_y = S_y = \sum F_{iy}$$

The angle α_R and position p is calculated as follows

$$\cos \alpha_R = \frac{R_x}{R}, \quad p = \frac{M_0}{R}$$

7.4. GPFS equilibrium conditions

Equilibrium conditions $\underline{S} = \underline{0}$, $\underline{M}_0 = \underline{0}$ is determined by three equilibrium scalar equations:

- 1st alternative: 2 component equations, 1 momentum equation

$$R_x = 0, \quad \sum F_{ix} = 0$$

$$R_y = 0, \quad \Rightarrow \quad \sum F_{iy} = 0$$

$$M_0 = 0, \quad \sum M_{i0} = 0$$

- 2nd alternative: 3 momentum equations

$$\left(\sum M_i \right)_A = 0$$

$$\left(\sum M_i \right)_B = 0$$

$$\left(\sum M_i \right)_C = 0$$

Points A, B, C must not lie in one line, as this line could act as a resultant and the equilibrium conditions would be met.

- 3rd alternative: 2 momentum and 1 component equation

$$(\sum M_i)_A = 0$$

$$(\sum M_i)_B = 0$$

$$\sum F_{ix} = 0$$

The joining line of points A, B must not be perpendicular to axis x (to the axis in which direction we write the force formula), otherwise the resultant could be on this line and the equilibrium conditions would be met.

8. General spatial force system

General spatial force system consists of forces randomly distributed in the space. It is the most general type of force system, for which it holds true that:

$$\underline{S} \neq 0, \underline{M}_0 \neq 0, \underline{S} \cdot \underline{M}_0 \neq 0$$

If in general \underline{S} and \underline{M}_0 are not perpendicular to each other, GSFS cannot be replaced by one resultant.

8.1. Replacing GSFS at chosen starting point

If a given GSFS at the selected starting point 0, (Figure a), the effect of the i-th force at the point 0 is

- sliding \underline{F}_i
- rotational $\underline{M}_{i0} = \underline{r}_i \times \underline{F}_i$

The resulting effect of all forces in the given force system at the point 0 is

- sliding (Figure b) $\underline{S} = \sum \underline{F}_i$
- rotational (Figure c) $\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0}$

$$\underline{M}_0 = \sum \underline{M}_{i0} = \sum \underline{r}_i \times \underline{F}_i = \sum \begin{vmatrix} \underline{i} & \underline{j} & \underline{k} \\ x_i & y_i & z_i \\ F_{ix} & F_{iy} & F_{iz} \end{vmatrix}$$

Magnitude and direction of sliding and rotational effect

$$\underline{S} = \underline{S}_x + \underline{S}_y + \underline{S}_z = S_x \cdot \underline{i} + S_y \cdot \underline{j} + S_z \cdot \underline{k}$$

$$\underline{M}_0 = \underline{M}_x + \underline{M}_y + \underline{M}_z = M_x \cdot \underline{i} + M_y \cdot \underline{j} + M_z \cdot \underline{k}$$

The effect of GSFS to point 0 is expressed by six equations

$$S_x = \sum F_{ix} = \sum F_i \cos \alpha_i$$

$$S_y = \sum F_{iy} = \sum F_i \cos \beta_i$$

$$S_z = \sum F_{iz} = \sum F_i \cos \gamma_i$$

$$M_x = \sum M_{ix} = \sum (y_i F_{iz} - z_i F_{iy})$$

$$M_y = \sum M_{iy} = \sum (z_i F_{ix} - x_i F_{iz})$$

$$M_z = \sum M_{iz} = \sum (x_i F_{iy} - y_i F_{ix})$$

Magnitude and position of the resulting sliding effect \underline{S} (Figure d) is calculated as follows:

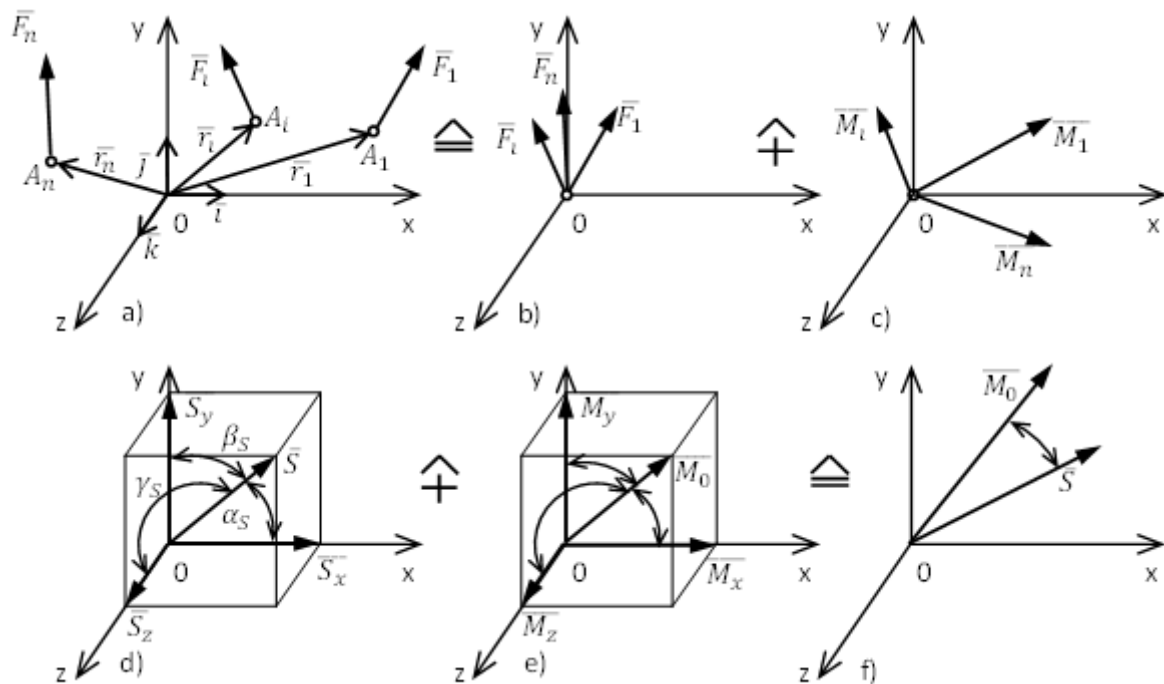
$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$$

$$\cos \cos \alpha_S = \frac{S_x}{S}, \cos \cos \beta_S = \frac{S_y}{S}, \left(\cos \cos \gamma_S = \frac{S_z}{S} \right)$$

Magnitude and position of the resulting rotational effect M_0 (Figure e) is:

$$M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

$$\cos \cos \alpha_M = \frac{M_x}{M_0}, \cos \cos \beta_M = \frac{M_y}{M_0}, \left(\cos \cos \gamma_M = \frac{M_z}{M_0} \right)$$



The angle φ (Figure f) can be determined by means of scalar product

$$\underline{S} \cdot \underline{M}_0 = S M_0 \cos \cos \varphi$$

where

$$\cos \cos \varphi = \frac{S M_0}{S M_0}$$

8.2. GSFS equilibrium conditions

The conditions of a general spatial force system equilibrium are the following:

$$\underline{S} = 0, \underline{M}_0 = 0, \text{ t.j.}$$

$$\sum \underline{F}_i = \underline{0}, \quad \sum \underline{M}_{i0} = \underline{0}$$

Scalar form: six equilibrium equations:

- 1st alternative: three force and three momentum equations written to coordinate systems

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$\sum F_{iz} = 0$$

$$\sum M_{ix} = 0$$

$$\sum M_{iy} = 0$$

$$\sum M_{iz} = 0$$

As in the previous chapters, couples can be replaced by momentum equations to other random axes, but the momentum equations cannot be replaced by other force equations. There must be at least three momentum equations to three various random axes. This way we can get other alternatives of expressing equilibrium conditions.

- 2nd alternative: 2 force and 4 momentum equations
- 3rd alternative: 1 force and 5 momentum equations
- 4th alternative: 6 momentum equations to the axes $o_1 - o_6$

The axes $o_1 - o_6$ (does not have to include the axes x, y, z) must not be parallel and must not be intersected by one line.

9. Static analysis of body system

A system of bodies is a structure consisting of at least two bodies besides a frame. The individual bodies in a system are linked to each other and to the frame. The bindings which linked the individual bodies to the frame are external links, the links between the bodies are called internal links. According to the type of mutual links, there are systems with different movability and different character of movement of individual bodies. According to characteristic properties the body systems are divided into planar and spatial, movable and immovable, kinematically and statically determinate and indeterminate.

9.1. Kinematic and static determination of planar multi-body systems

Kinematic determination (mobility) of multi-body systems is assessed by means of linkage dependency. The process is analogical to determination of body mobility.

Interlink of two bodies is referred to as a kinematic couple. In the case of planar multi-body systems, kinematic couples are divided by the structure into rotational, sliding and rolling, that remove two degrees of freedom of movement, and general that remove one degree of freedom of movement.

If a system consists of n bodies out of which one was adjusted, that is, was created into a frame, the bodies before their link have

$$v = 3(n - 1) = 3n$$

Degrees of freedom of movement, where $n = n' - 1$ is a number of bodies besides a frame. If the system contains "m" particles besides "n" bodies, the number of degrees of freedom of such a system before linked is

$$v = 2m + 3n.$$

The overall kinematic determinacy of a system is assessed by the linkage dependency formula

$$i = v - u_{internal} - u_{external}$$

$u_{internal}$ - number of degrees of freedom removed by internal links

$u_{external}$ - number of degrees of freedom removed by external links

When analyzing kinematic determinacy of a system, it is analyzed both internal and external determinacy, where the following situations may occur:

- The overall kinematic determinacy is assessed with regard to internal and exter-

nal links, where the resulting number of degrees of freedom of system movement is given by the relation

$$i_c = v - u_{internal} - u_{external} = 0$$

> overall kinematically indeterminate
 = 0 overall kinematically determinate
 < overall kinematically overdetermined

- When analyzing the internal kinematic determinacy only the internal links are considered, that is, the links between the bodies of the system. It is determined by linkage dependency

$$i_c = v - u_{internal} - v_{ST}$$

> internally kinematically indeterminate
 = 0 internally kinematically determinate
 < internally kinematically overdetermined

where: $u_{internal}$ – number of degrees of freedom of movement removed by internal links

v_{ST} – number of degrees of freedom of a system movement considered as a one rigid body to a frame. For a system considered as a single body in the plane, $v_{ST} = 3$.

- When analyzing the external kinematical determinacy only the external links are considered, which bind the system to the frame, and the system is considered one rigid body. It is determined by linkage dependency

$$i_c = v_{ST} - u_{external}$$

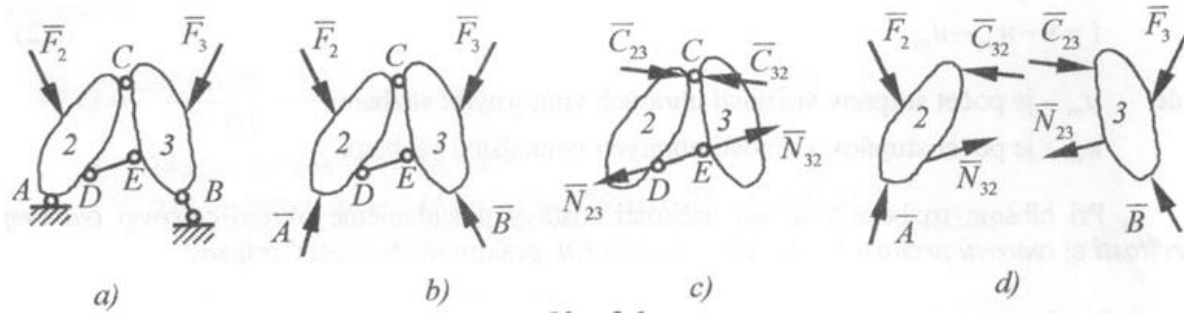
> externally kinematically indeterminate
 = 0 externally kinematically determinate
 < externally kinematically overdetermined

A system which is kinematically determined can be internally kinematically indeterminate x-times, but at the same time it must be externally k-times kinematically overdetermined.

9.2. Principle of static solution of multi-body systems

The static solution of multi-body systems is based on the theorem of the forces balance. In terms of the forces acting on a multi-body system (Figure a) in its equilibrium, it can be stated that:

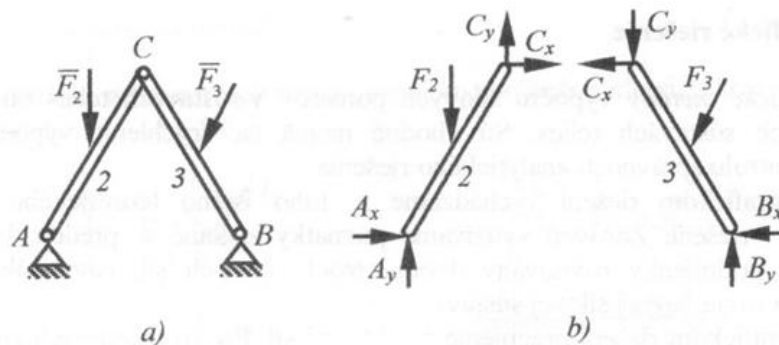
- All external forces (load and reaction) acting on a body in a system are balanced (Figure b)
- In respect to the action and reaction axiom in each link, all internal forces are balanced (Figure c).
- The individual force systems consisting of all forces acting on each body or any set of bodies are balanced (Figure d)



9.3. Analytical (computational) solution of multi-body systems

The basic method of static solution of systems is a release method. The method consists in releasing the individual bodies in the system (sets of member or the whole system) and determining the corresponding equilibrium conditions. If the system consists of “n” bodies without a frame and “m” particles, the equilibrium depends on $r = 3n + 2m$ independent equilibrium equations, based on which in the case of statically determined task the same number of unknown parameters of reactions and additional forces can be calculated.

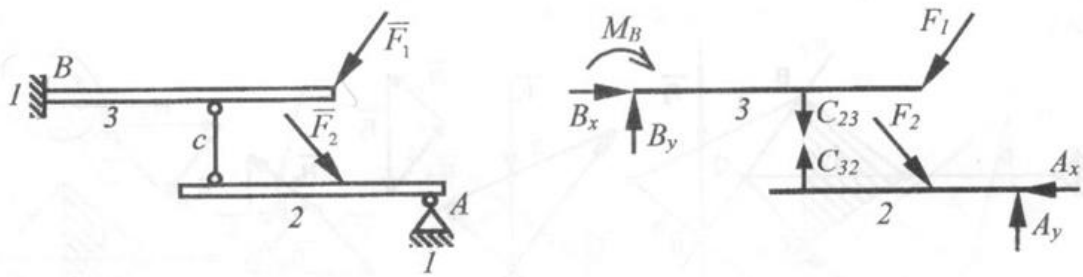
For external forces acting on a system of bodies and for forces action on a certain group of bodies in the system, there are three equilibrium conditions. For example, for calculation or reactions $A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y$ 3 and 3 equilibrium equations for released bodies 2 and 3 (Figure b) of the multi-bodies system from Figure a are available.



In respect to their solvability, multi-body systems can be divided into simple and complex.

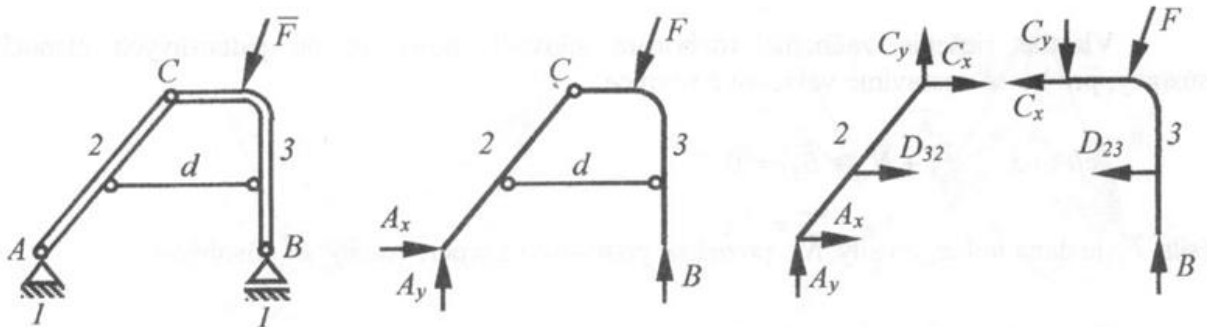
Simple systems

- With $i_{external} \neq 0$ can be solved by gradual solving the equilibrium of its members (Figure).



Based on the body 2 equilibrium, A_x , A_y , $C_{32} = C_{23}$ will be determined; based on the body 3 equilibrium, B_x , B_y , M_B can be calculated.

- In the case of $i_{external} = 0$ the system can be solved as a whole and subsequently the individual members equilibrium are solved (Figure)



- Simple systems include systems containing three-hinged arch.
 - Complex systems are those that cannot be solved directly and do not contain three-hinged arch

10. Planar bar systems

A specific case of rigid multi-body systems is so-called truss structures, which we encounter in various structures, such as bridges, masts, cranes, roof structures.

According to the spatial arrangement of the structure and the type of external forces system, truss structures are divided into spatial and planar.

Truss structures load can be concentrated at one point (load lifted by a crane) or continuous (weight of a road, weight of the structure itself). In some cases the effect of external load is permanent, while sometimes it changes over time.

To solve truss structures it is necessary to create a suitable static calculation model on the following simplification assumptions:

- Truss structure elements can be considered one-dimensional bodies fixed to the structure by two linkages. These are called binary bodies.
- Linkage of all binary bodies is considered articulated. It is possible also in the case of riveted or welded joints, if the elements connected are not too short. The condition is the arrangement of the elements in individual joints so that the axes of the centers of gravity connected in one joint intersect at one point (called nodal point).
- The structure loading is considered only in nodal points. Continuous load of structure elements is concentrated in two joints which connect the element to the structure.

Such calculation model is called bar system. It is a system of unloaded bodies – bars, which are connected in joints, and they are loaded in the joints. With such load, only axial forces are generated (tense or compression). Bar systems can be spatial or planar.

10.1. Kinematical determinacy of bar systems

Bar system is assessed as a system of particles mutually connected by bars. A bar system can be a whole that is called a bar body.

Kinematical determinacy of a bar body, that is, external kinematical determinacy of planar bar system, will be assessed according to linkage dependency valid for a body in a plane.

$$i_{external} = 3 - u_{external}$$

Internal kinematical determinacy of a bar system is assessed according to
>internally kinematically indeterminate

$$i_{internal} = 2s - p \quad < \quad = 3 \quad \begin{array}{l} \text{internally kinematically determinate} \\ \text{internally kinematically overdetermined} \end{array}$$

where s - number of joints

p - number of bars

3 - for both relations, the number of degrees of freedom of a bar body

2 - number of degrees of freedom of a free particle in a plane

Overall kinematical determinacy of a bar system

$$i_c = 2s - p - u_{vo}, \text{ if } i_c = 0 - \text{ the system is kinematically and statically determined}$$

10.2. Static solution of bar systems

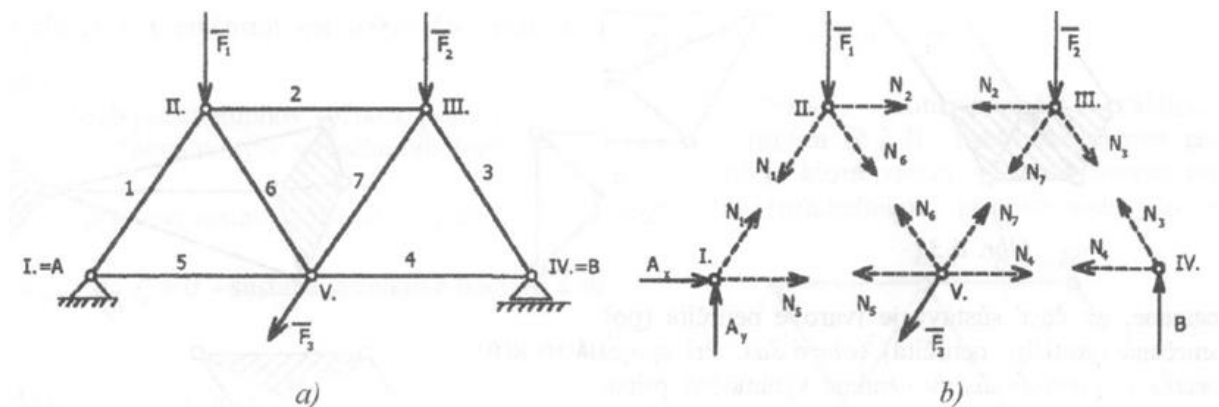
The objective of static solution of bar systems is to identify the magnitude of axial forces in the bars, their orientation and unknown parameters of external reaction depending on external loading force effects. This could be achieved by several methods.

- Central force systems equilibrium that acts only on the individual joints (the method of nodal points)
- Equilibrium of forces acting on a part of a bar system (method of sections)

10.3. Nodal point method

The principle of the method consists in solving the equilibrium of all forces acting on each joint separately. During the gradual releasing of all joints, equilibrium conditions of central force system acting on each joint are determined.

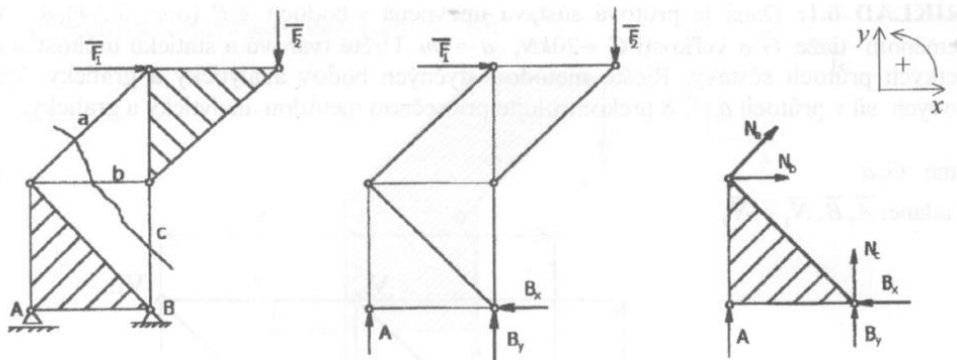
In case that the system as a whole (system body) is kinematically and statically determined, solving equilibrium of external forces (used for calculating external reactions) facilitate the overall solution of equilibrium equations for individual joints.



10.4. Method of sections

Solving axial forces by method of sections is based on the following assumption: if the bar system is balanced, the forces acting on each cut part of the bar system must be balanced. The equilibrium of this part can be solved in the plane or in space. For a body in a plane (space) there can be 3 (6) independent static equilibrium conditions, using which it is possible to determine 3 (6) unknown axial forces. It follows that when using this method it is necessary to divide the bar system by means of imaginary cut over three (6 in space) bars that do not intersect at one point.

From the equilibrium of one of these parts it is possible to calculate axial forces in cut bars. If each of the cut-off parts is subjected to a loading forces and reaction, these reaction must be first determined from the bar body equilibrium.



11. Centre of gravity of physical and geometric objects

Centre of gravity of a parallel force system with forces linked to A point through which the resultant of this force system passes when turning the system by any angle. If the parallel forces are the Earth gravity forces (the forces of gravity of individual parts of the body), the centre of this force system is called the centre of gravity.

Position of centre of gravity can be determined analytically, graphically and experimentally. In the case of analytic and graphical solution, the condition is the known distribution of the weight in the body, while the graphical solutions focus mostly on planar or symmetric spatial body. Experimental determination of the centre of gravity position is used mostly in the case of complex shapes and non-homogeneous bodies.

11.1. Analytical identification of centre of gravity position

Elementary force $dG = dG = \rho dV g$ acts on the volume element dV of a body of a weight ρ , while g is a magnitude of gravitation acceleration. For the x-coordinate of the centre of gravity it holds true that

$$x_T = \frac{\int_V x \rho dV g}{\int_V \rho dV g} = \frac{\int_V x \rho dV}{\int_V \rho dV}$$

while the V volume is fully integrated. Similar equation is true for y_T and z_T . For calculating integrals we must know the distribution of density ρ in the body, that is function $\rho = \rho(x, y, z)$.

In the case of a homogeneous body density or the specific body weight is constant. The centre of the mass in this case is identical with the centre of gravity of the geometric figure. It follows that the position of the centre of gravity of a homogeneous body does not depend on its mass but it's given by the geometric shape.

$$x_T = \frac{\int_V x dV}{V}, \quad y_T = \frac{\int_V y dV}{V}, \quad z_T = \frac{\int_V z dV}{V}$$

In the case of a homogeneous body of a constant thickness t (shell) is $dV = t dS$, where dS is an element of area and the coordinates of such a body are

$$x_T = \frac{\int_S x dS}{S}, \quad y_T = \frac{\int_S y dS}{S}, \quad z_T = \frac{\int_S z dS}{S}$$

where S is overall area of a body, $\int_S x dS$ – static moment of a body to the plane yz.
In the case of a homogeneous body with a constant cross sectional area S all over its length l is $dV = S dl$ and the coordinates of such a centre of gravity are

$$x_T = \frac{\int_l x dl}{l}, \quad y_T = \frac{\int_l y dl}{l}, \quad z_T = \frac{\int_l z dl}{l}$$

where l is an element of its length.

If a body can be divided into a specific number of parts whose centers of gravity are known or is possible to calculate, then the centre of gravity of such a composed homogeneous body can be calculated as follows:

$$x_T = \frac{\sum x_i V_i}{\sum V_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i V_i}{\sum V_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i V_i}{\sum V_i}$$

For a shell in the space

$$x_T = \frac{\sum x_i S_i}{\sum S_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i S_i}{\sum S_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i S_i}{\sum S_i}$$

For a body of a constant cross-sectional area, or for a line in the space

$$x_T = \frac{\sum x_i l_i}{\sum l_i}, \quad y_T = \frac{\sum y_i l_i}{\sum l_i}, \quad z_T = \frac{\sum z_i l_i}{\sum l_i}$$

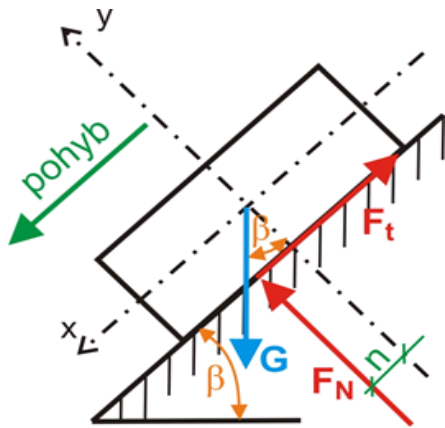
The calculation of the centre of gravity coordinates will be performed by entering the results of sub-calculations in a table.

i	x_i	y_i	z_i	H_i	$x_i H_i$	$y_i H_i$	$z_i H_i$
1							
2							
...							
\sum				A	B	C	D

Symbol H_i represents one of the variables V_i , S_i , l_i . The coordinates of the centre of gravity will be calculated as a share of the relevant sums.

12. Passive resistance

12.1. Sliding friction



Legend: pohyb - movement

F_t - friction force

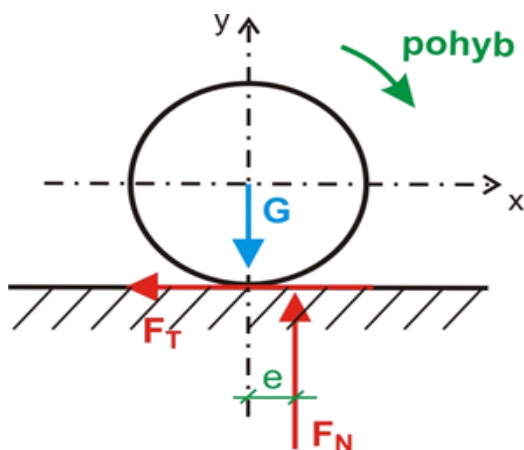
F_N - normal reaction

Coulomb's law: $F_t = F_N \cdot f$

f - coefficient of sliding friction

F_t - friction force - always acts against the movement

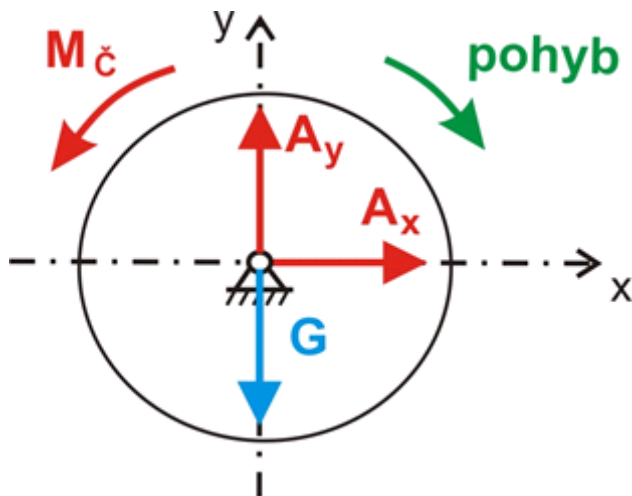
12.2. Rolling resistance



F_T - tangential reaction

F_T - act against possible slipping

12.3. Pin friction moment



$$M_{\check{c}} = f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}} \cdot A$$

$$M_{\check{c}} = f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}} \cdot \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

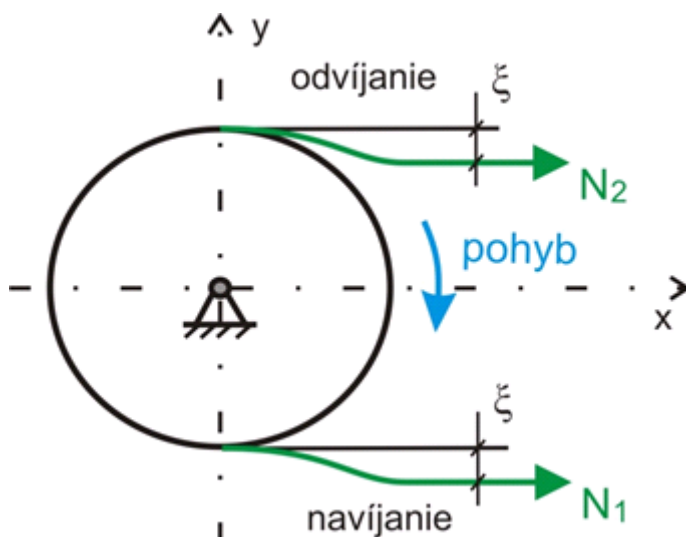
$M_{\check{c}}$ – pin friction moment

$f_{\check{c}}$ – coefficient of pin friction

$r_{\check{c}}$ – pin radius

A – resulting reaction in pin

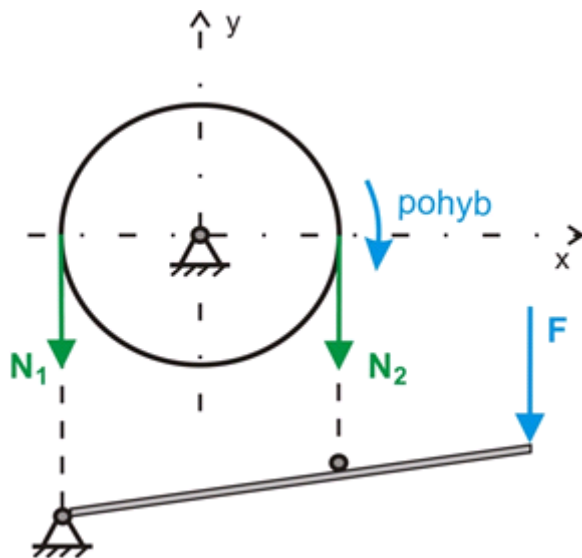
12.4. Rigidity, immobility of ropes



Legend: odvíjanie - reeling, navíjanie - winding, pohyb - movement

ξ (ksi) – arm of rope rigidity

12.5. Fiber friction on cylindrical surface



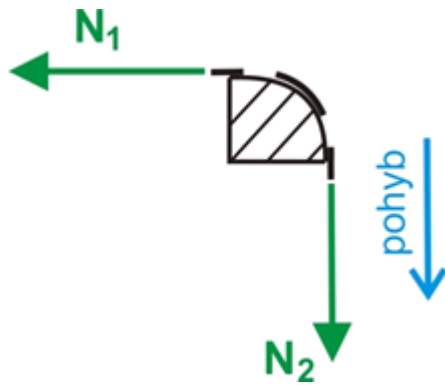
$$N_1 > N_2$$

$$\text{Euler's law: } N_1 = N_2 \cdot e^{\alpha \cdot f_1}$$

α – wrapping angle [rad.]

f_1 – coefficient of fiber friction on cylindrical surface

$$\alpha [\text{rad}] = \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \alpha$$



$$N_1 > N_2$$

$$\text{Euler's law: } N_1 = N_2 \cdot e^{\alpha \cdot f_1}$$

INNOVATIVE PROCESSES

1. Process, Innovation, Innovation Management

1.1. The Process

What is the process?

The **process** is a general term for the gradual flow of actions, states, activities or work.

There are more types of processes in the real world, so the term process is used in practice in various ways. Therefore, it is important to know the context of what process is being said, otherwise there may be misunderstandings. e.g.

- Business process (process as flow of activities and work)
- Production process (process as value creation, product)
- System process (process as running software)
- Production process (process as product creation)
- The process of technology (process as process of production or creation of something)
- Chemical process (process as chemical action)
- Thermodynamic process (thermodynamic process)
- The biological process (as a biological process)

Depending on behavior, the processes are divided into:

- Stochastic processes - these processes do not exactly know how they are going, the result can only be explained by probabilities
- Deterministic processes are those whose behavior is well known.

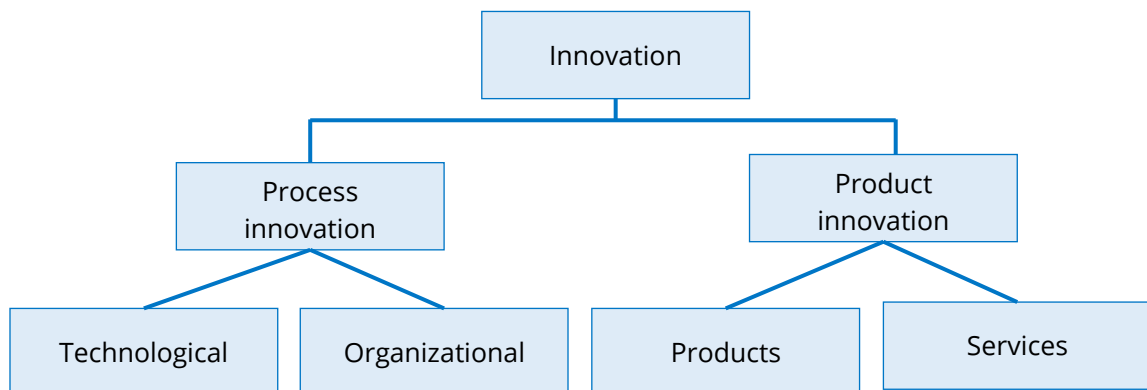
1.2. Innovation

What is the innovation?

Innovation means improvement. It represents a complex process from the idea, through development to eventual implementation. The result of innovations is an improved process, product, service or anything else.

Typically, the following types of innovations are distinguished:

- Product or service innovation,
- Process innovation,
- Organizational innovation,
- Marketing innovations.



Innovation in practice

- Innovation is a key driver of evolution for all organizations.
- With innovation, new products are introduced, improved and developed, increased work efficiency, cost savings, and quality improvements.
- Encouraging innovation in enterprises is an integral part of good management and part of quality management approaches (eg PDCA cycle, Six Sigma, etc.)

1.3. Innovation management

What is Innovation Management?

Innovation Management is concerned with introducing something new into the functioning and running of an organization / business or into the portfolio of its / its products or services. Innovation is closely related to quality management, and therefore the methods overlap with each other.

Innovative management methods

- Blue Ocean Strategy
- CAF
- DMAIC
- Deming's cycle (PDCA)
- EFQM Excellence Model
- Kaizen
- Quality rings
- Open Innovation
- Six Sigma
- TRIZ
- TQM – Total Quality Management
- User Centered Design

Deming's cycle (PDCA Cycle)

- Is a method of gradually improving, for example, the quality of products, services, processes, applications, data, in the form of repeated implementation of four core activities:

P – Plan – Planning the intended improvement (intent)

D – Do – Implementation of the plan

C – Check – Verification of the result of the implementation compared to the original plan

A – Act – Adaptation of intent and implementation on the basis of validation and implementation of improvements in practice

- **In practice**, it is used as a well-defined and cyclically repeating sequence of steps and activities in introducing innovation and improving quality primarily in production.

Six Sigma

- Is a complex method of management and is referred to as the philosophy the organization (enterprise) must accept.
- It focuses on continuous improvement (innovation) of the organization by understanding customer needs, by analyzing processes and standardizing measurement methods.
- It is a comprehensive, flexible management system that is based on an understanding of customer needs and expectations, disciplined use of information and data for management and decision making,
- Innovations are based on an improvement cycle in Six Sigma that focuses on finding weak spots and removing them.
- Objectives and Characteristics of Six Sigma
 - Maximize Profit
 - Effective use of resources and increased productivity
 - Reduction of support processes
 - Minimizing negative phenomena – defects, mismatches, losses, claims and costs

TQM (Total Quality Management)

- As a rule, it is not translated and the abbreviation TQM is used,
- Is a very complex management method that puts emphasis on quality management in all aspects of the organization's life. It transcends the quality management framework and becomes the method of strategic management and management philosophy for all the organization's activities.
- There are a number of different forms and interpretations of TQM, however common features can be read from the letters of its abbreviations:

- **Total** – It involves the full involvement of all the staff of the organization
- **Quality** – It is the concept of quality principles throughout the organization
- **Management** – Principles merge with all levels of management and all managerial functions

These common TQM principles apply in different organizations and countries differently, depending on their social, cultural, personnel, legislative, technical and other conditions.

Analytical techniques applicable to innovation management

- Brainstorming
- Mental maps
- Pareto's rule
- SMART – Goal Design

1.4. Strategic planning

- Strategic planning is the systematic management of any organization / enterprise. It aims to mobilize and efficiently use all of its own resources and respond in a timely and correct manner to changes in the environment.
- The main benefit of strategic planning lies in the fact that:
 - Helps you to clearly understand the desirable directions of long-term development and focuses all efforts and resources on solving key issues,
 - Shows how best to prepare for the future development of external conditions, how to minimize the negative impact of threats and maximize the opportunities that may emerge in the future,
 - Creates an objective basis for decision-making on priorities,
 - Solves problems long and complex,
 - Enable optimal use of both apparent and hidden human and financial resources.

1.5. Strategic Plan

Strategic plan can be understood as an agreement to make further use of the current possible resources and to find a common program that we want to achieve gradually in our mutual cooperation. It is not so important how we will get to the recommended steps, which method of strategic planning we choose, but much more important is the common will to promote gradual steps that will lead to an improvement in the overall situation.

- **It should meet the following criteria:**
 - Long-term (processed for a minimum of 4 years),
 - Systematic (maps all branches and disciplines),
 - Selectivity (defining priorities that are further developed),
 - Coherence (between the measures and the target groups concerned),
 - Continuity (this is not a rigid document, it must be checked and modified),
 - Openness (towards the needs and ideas of citizens),
 - Reality.

1.6. Business strategy

Business strategy is one of the most important documents of each business that sets specific business goals for a longer period (3-5 years) and ways to achieve these goals.

Three key components can be seen under the concept of strategy:

- **Mission (mission) of the enterprise** - Short text intended for employees and external employees of the enterprise, which defines the business area and relationships with the company's partners;
- **Long-term goals (vision)** - for selected key performance criteria, it contains numerically and text-defined goals for the period over which the strategy is being developed;
- **Own strategy, which represents a temporally and factually interlinked set of changes (projects)** Whose successful implementation will lead to long-term goals.

2. Competitive advantage, competitiveness

2.1. Competitiveness

- The economic meaning of the meaning is the ability of an enterprise to achieve economic rents.
- Ricard's economic rent, which relates to rare resources, ie resources that are difficult to imitate competitors (for example, Unique location, long-term reputation, etc).
- Schumpeter's economic rent, which relates to innovation, is shorter in time, because innovations can be imitated.

2.2. Competitive advantage

The competitive advantage of organizations can arise from their size (property, scope, market position) or the ability to mobilize their intellectual capital, technological skills and experience, and create something completely new in offering their products or services.

This trend also contributes as a source of general economic growth. According to Tidda et al. (2006) innovation contributes in several ways:

- The strong relationship between market power and new products,
- New products help maintain market shares and increase profitability,
- Growth and influence of non-price factors (design, quality, individualization, etc.)
- Ability to replace obsolete products (shortened product lifecycle),
- Process innovation that has an effect on shortening production time and developing new products faster than competitors.

- It therefore follows that the innovation activity of an enterprise significantly affects competitiveness, which is based on inimitable skills and abilities. Achieving higher competitiveness through innovation results in products cheaper and of higher quality than competitors.
- If an organization is unable to keep up-to-date, it risks losing its way back and the initiative is taken over by other entities. J. Schumpeter (in Tidd et al, p.8, 2006) argued that entrepreneurs will try to use technological innovation - a new product or service, or a new process in their production - when they get a strategic competitive advantage. There will be competition that will not attack the profit margins or outputs of existing companies, but on their merits and their very existence.

2.3. Innovation and competitive advantage

- In terms of creating a competitive advantage, the phenomenon of innovation can be distinguished as three basic types of innovation:
 - Either the product and the services connected to it are changed,
 - Or the production and production capacity changes,
 - Or people and ways of working and driving change.
- At the beginning, emphasis is placed on the invention, from which the innovation will become the natural response, or vice versa, the innovation can be taken without prior invention.
- Jirásek, 2004 created the formula: "*... innovation generates innovations, which are the basic pillar of competitive advantage ...*".
- From the viewpoint of the historical development of the phenomenon of innovation to the professional public, combined with the creation of a competitive advantage, one can see the shift of thought.
- One innovation attracts the other, complements and strengthens one another. It forms "clusters" of innovation. It is only when analyzing the context of these innovation clusters that the social demand for a new product value shows the competitive advantage and the progress of the business.

2.4. Growth based on innovation

- The purpose of an enterprise is to create a customer. Therefore, a business organization has only two basic functions: marketing and innovation (business functions).
- The company must monitor the extent to which the products respond to today's customer needs.
- Four basic parallel business approaches:
 - Organizational rejection of products, services, processes, markets, distribution channels, etc. that do not meet the requirement of optimal resource placement,
 - The organization must perform systematic and continuous improvement,
 - Reaping its successes,
 - Organizing systematic innovations (creating a different tomorrow).

2.5. Innovation goals and strategies

The main factors influencing the innovation policy of all organizations are:

- Market globalization and innovation supply.
- (The issue of globalization now applies to all organizations. Communication technologies allow small businesses to operate internationally.).
- Work visualization, emphasis on shortening time and real-time operations.
- (Virtual work allows for high flexibility, but increases the risk of losing data, information, knowledge and entire innovation intentions).

- Challenges arising from interest for long-term sustainability and standardization.
- (Issues of long-term sustainability and standardization create borders for innovation proposals.).
- Distribution grid flexibility and new business models.
- (Reducing costs and maximizing flexibility also affects distribution processes and forces organizations to use multiple business models. Fast commercialization is based on the above-mentioned requirement to maintain innovation superiority and competitiveness.).
- Emphasis on fast commercialization of R & D results.
- Innovation must therefore be customer-centered and added value. From these goals, organizations need to develop their own strategies in line with their mission and vision.

2.6. Innovative strategies

- The organization's strategy provides a clear direction to behave and respond to the situation.
- Strategies allow you to meet your organization's goals and realize the vision and reflect its mission.
- Strategies can be most effectively generated on the basis of SWOT analyzes (field, organization, environment, etc.). Their conclusions are the starting point for direction. We must not forget that strategic management means not only the implementation of the chosen strategy, but also the constant correction and evaluation of individual objectives, benchmarks and SWOT.

2.7. Strategic management in general

- Based on various suggestions, they make variants of strategies.
- It chooses the direction (discipline, strategy) in which it will be implemented, for-

multate long-term orientation and behavior in its environment.

- It transforms vision and mission into a set of measurable goals and indicators.
- It suggests how to achieve these goals.
- Supervises the implementation of the chosen strategy.
- It then monitors development and performance, performs an audit, makes changes based on the current situation.

2.8. Hierarchy of strategies

- He basically answers questions who, how, and how much.
- The organization's hierarchy of strategies generally has the following structure:
 - Organization strategy,
 - Functional strategies (research and development, purchasing, sales, marketing, logistics, human resources, etc.),
 - Operational strategies (branches, factories, regional, etc.).
- Innovative strategies belong in the hierarchy between functional strategies, but should appear in the functional strategies of all organizational units. As we already know, innovation is not just a question of science and research.

2.9. Innovative business

Innovative businesses are created in several ways:

- Business plan based on the result of research and development, a patented technological process, funded by a bank or venture capital,
- A business plan created with the support of a business incubator,

- Intra-company intra-company, respectively. Corporate venture,
- Spin-off firm (separating part of the organization from "mother"),
- Social enterprise (innovation in the form of a change in society).

2.10. Innovative organization / firm

- The innovation organization is characterized by a typical saying: "Our greatest asset is people."
- In this case, it is not a phrase, but a characteristic of an organization focused on creative activity. This organization uses synergies that are created in teamwork. They usually have a process (or flexible) organizational structure. Sometimes, the organization is also associated with an innovator (personality) who packs other creative workers around him.
- The concept of an innovation organization is closely linked to entrepreneurship. New innovation-driven business plans are created in high-tech disciplines such as nanotechnology, biotechnology, IT, semiconductors, and so on.

2.11. The innovative organization is characterized by

- Shared vision, mission and will to innovate,
- Process structure,
- Strong individualities (leaders = leaders),
- Effective teamwork (knowledge sharing),
- Continuous individual development,
- Barrier-free communication in all directions,
- All members of the organization are involved in innovation, and willing to accept changes,
- Pro-innovation culture (climate),
- Learning organization.

3. Collection of information, creativity

3.1. Collection of information, sources of information ideas, incentives for Innovation

External environment

- Customers
- Suppliers
- Competition
- Consultants, V & V institutions
- Schools, universities
- Professional publications
- Internet
- Exhibitions, fairs, specialized seminars and conference
- Patent databases
- Advertising agencies
- Investors
- Media
- Authorized testing laboratories, Certification agency
- Government institution
- Public sector
- Legislation
- Globalization

Indoor environment

- Own Science and Research
- Technical departments - design, construction, technology
- Production departments (production, provision of services)
- Marketing and sales
- Logistics (purchases and deliveries)
- Warranty and post-warranty service
- Owners

3.2. Definition of creativity

- Creativity is a process that results in a new object that is useful and satisfies needs in the appropriate time and environment.
- Creativity is a continuous process by which one combines and recombines his past experience and knowledge in such a way that he finds new progress, arrangements, and relationships that better address the identified problem.
- A creative solution is a solution to a serious problem. A hard problem is a problem that has no obvious solution.
- In relation to defining creativity, let's stress the difference between solving tasks and solving problems.
- Task solving is a goal and a method to achieve it. Solutions are used to define algorithmic procedures.
- Only identifying and partially targeting the problem is known, but we do not know how to achieve it.
- Creative solutions are based on knowledge, but knowledge alone does not guarantee problem solving when statically applied.
- Creativity is more based on the way knowledge is transformed, how much they are.

3.3. The Difference Between Analytical and Creative Thought

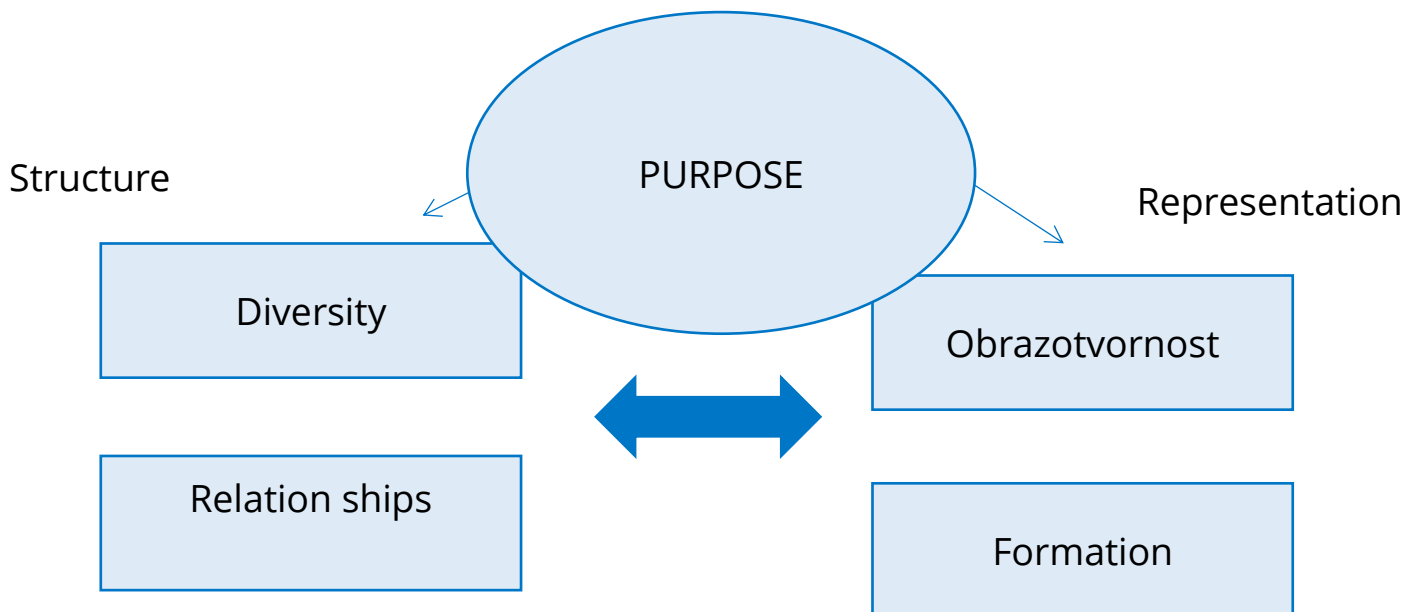
Analytical thinking

- logic
- Individual responses
- Convergence
- Vertical procedure
- finding the solution

Creative thinking

- imagination
- Cumulative responses
- divergence
- Lateral procedure
- Generating solutions

3.4. A model of creativity



3.5. The stage of the creative process

Despite the diversity of individual creative solutions, 4 typical phases of the creative process can be distinguished.

Preparation - It's a careful consideration of the problem and a clear specification of the goals. Is associated with gathering and analyzing the necessary information.

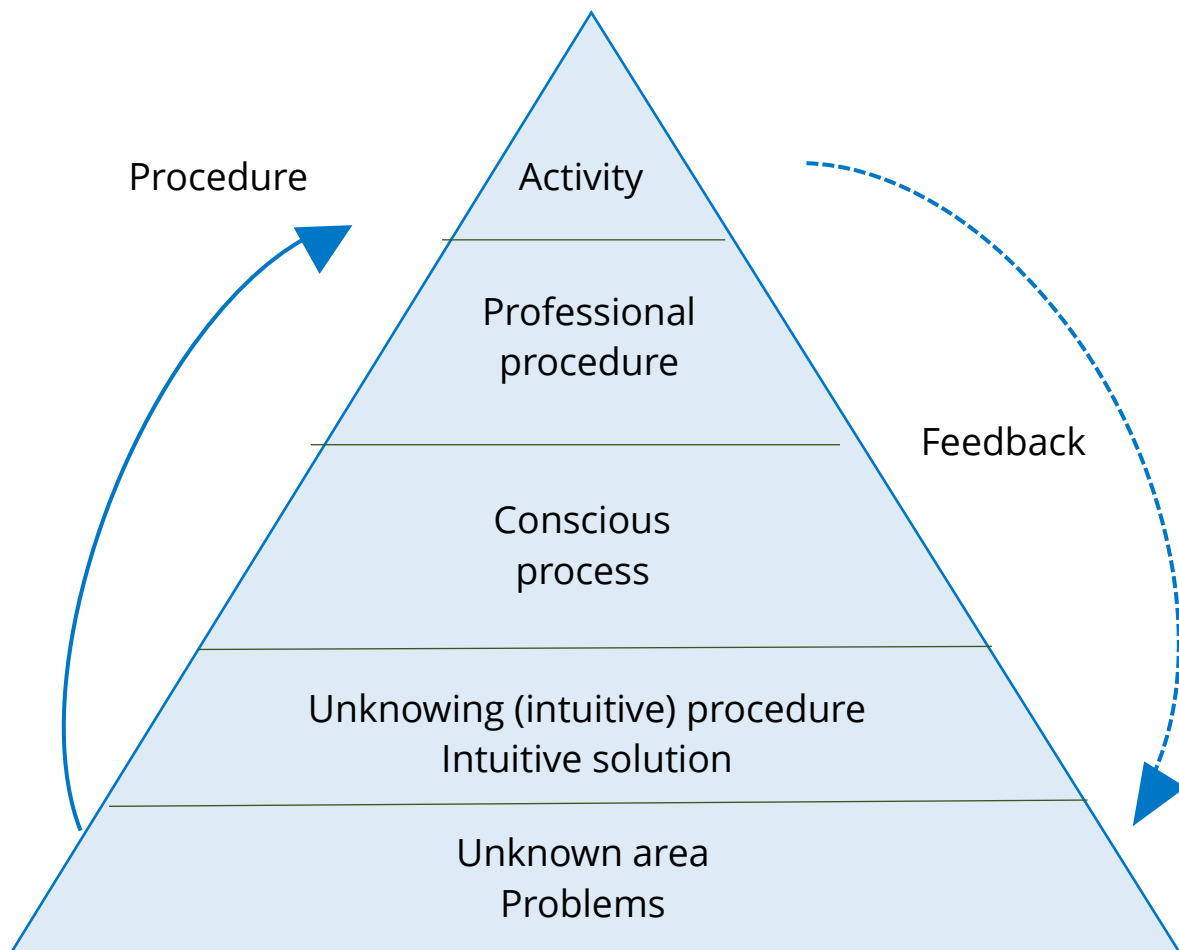
Incubation - A typical sign of problems is that it can not be solved at once. The solving

effort is combined with breaks. However, apparent pauses lead to unconscious activity (spontaneous analysis, factoring, new attitudes, etc.) under strong motivation.

Enlightenment - Create an idea that solves the problem or illuminate the path that can be solved.

Verification - Assessing the correctness of the solution and its application.

The stages of the creative process express how, from an unknown area and intuition, gradually progresses to awareness and professional realization



3.6. KAIZEN - Innovation Innovation Initiative

- The best known method of involving workers in continuous innovation is the KAI-ZEN method. This formerly Japanese method is currently an integral part of the work initiative in most advanced businesses.
- KAI - improvement (everything can be improved, each product, technological process, work activity, production system)
- ZEN - Improving is constantly, responding to every new possibility, change of conditions, new information and every worker can take part in it.
- Kaizen means improving customer focus production, improving all processes in the value chain of business activities, while reducing costs. Its basis is the mass initiative of workers supported by an effective motivation system.

Important KAIZEN System Application Principles

- Any improvement, though not very important, should be taken into account.
- KAIZEN is open to everyone. All workers can participate in the improvement process.
- Before any improvement is introduced, they must be accurately analyzed taking into account the existing state and possible positive or negative effects.
- Management has two main tasks - creating and maintaining standards and improving them.
- Work team preference, support for participation and employee initiative to solve problems.
- Improve search with team meetings. Important single preparation and holding of the meeting, as well as the selection of the topic and ensuring the implementation of the adopted solution.
- Knowledge of the current state of production, problems and business objectives, navigation of the improvement process to areas that make up bottlenecks.
- Strong support from business management. Kaizen is built on bottom activities

but requires strong support from above.

- Creating organizational prerequisites for improvement.
- Motivation of employees - participation in success. Material and financial evaluation of good solutions.
- Promoting improvements that can be quickly evaluated and implemented and do not require high investment.

4. Innovative Opportunity

4.1. Innovative Opportunities

- Once the opportunity analysis shows if the idea is feasible and meets the conditions of potential success.
- The process of identifying an opportunity can be likened to looking for golden grains. If we compare the innovative ideas with sand, sifting through the network is a search for opportunities.
- This process confirms statistical data on the so-called discarding of new innovative ideas.

4.2. Sources of innovation opportunities

Unexpected events:

- Unexpected success
- Unexpected failure: Conflicts between people's ideas and a market that does not accept it. We made too many changes and the customer did not accept it.
- Unexpected external event: radically changes views on development. E.g. War in Iraq - suddenly there is a great need for gas masks. An unexpected event generates a request for something new to conceive.

Inconsistency of facts: Inconsistencies often arise from a competitive environment, where, in particular, due to the entry of new products, the view of the products is changing. Maybe decide what to do with such products. Management must decide whether to remain faithful to the product (loyal product)

- The demand for the product grows while sales volume stagnates or falls,
- People misunderstand the nature of the problem,
- The discrepancy between the expected values and expectations of customers,
- The contradiction in process logic is based on the knowledge of processes.

Innovation based on the need for a process: Lack of interdisciplinary understanding of innovation

Changes in the sectoral or market structure: each sector is developing at a different pace.

Demographic changes: Impact on what will be bought, who will buy it and what quantity. Decisions on quantities. It's a business issue with a profit.

Changes in the world view: at any given time, the priority is another hierarchical layer of human values, the timing problem. If there is a layer of people who are rich, it is a space for creating certain products that are designed for these people.

New knowledge: Innovation of the highest degrees. The question of knowing new relationships that were not used in products. It can be a new idea. E.g. Bird flu - an effort to create a kind of vaccine. Whoever succeeds in this is commercial success - who will be the first.

4.3. Typical structure of the innovation opportunity evaluation study

- Business Idea: Identified the need and the way it is implemented, transforming the idea into a product or service, resources, information, research and development issues.
- Opportunity evaluation: market potential, resources, potential competitiveness, performance, risks.
- Conditions for successful implementation: compliance with business strategy, acceptability of risk factors, possibility to take advantage of novelty of idea, estimation of consequences for the company in case of success and failure.

4.4. Methodological process of evaluating innovation opportunities

- Reviewed Ideas: Is the idea clearly formulated?
- Sorting ideas into groups.

- Selection of the rating system or Processing your own rating system.
- Performing ratings.

When choosing a rating system and an opportunity, consider the following factors:

- Functionality,
- Completeness and accuracy,
- Reliability,
- Own performance,
- Good application.

4.5. How to analyze innovative opportunities

- Market potential: Determination of the market segment and its overall capacity, estimate of market development, estimate of market share, estimate of sales volume of production, estimate of price level and tendency of its development.
- Resource requirement: identifying the individual resource components and their proportions, estimating the cost of individual resources and the total investment intensity to initiate the implementation of the innovation, the cost of realizing the opportunity, estimating the need for additional resources for the operation and development of the business, the security method, the risks related to the resources.
- Economic efficiency: liquidity flow, estimated total profit for the life of the new business, return on capital invested, time to profitability, development of the company's capital structure.
- Competitiveness:
 - Identification of the most important competitors,
 - Determination of the assessed competitiveness parameters,
 - Comparison of expected parameters with competitors' parameters.
- Time advantage:
 - Ideas arrive late / the market is already occupied /,
 - Ideas come prematurely / the market is not yet ready for acceptance /.
- Feasibility study: The results of the evaluation of the opportunity are processed in

the official document - the basis for obtaining the loan, the investor.

4.6. The following factors should be considered when selecting a rating system and an opportunity

- **Functionality** - Allows you to find good ideas, organize them according to your preference, and eliminate inappropriate ideas.
- **Completeness and accuracy** - Affects all important factors, eliminates uncertainty when deciding.
- **Reliability** - There is protection against introducing systematic errors into the rating process.
- **Effectiveness** - Enables fast and relatively low cost ratings.
- **Good Applicability** - The rating system is comprehensible, manageable and modified according to current conditions.

4.7. Typical methodological testing tools:

- **Control question method** - A set of questions is used, which has proven to be effective in similar conditions
- **The method of comparison and organization of ideas** - a set of evaluation criteria, significance, determination of the values of individual criteria, determination of order of importance of ideas
- **Investment methods** - banks and other investment organizations have a defined number of criteria defined and their limit values, which are required from funded projects.

5. Customer, customer communication

5.1. Defining a customer

- According to the standard ČSN EN ISO 9000, the organization or person receiving the product can be considered as a customer.
- Therefore, each organization can define two groups of customers, no matter what activity they are concerned:
 - external,
 - internal.
- Internal customers can be assigned not only to employees of the company but also to the owner who can use the outputs as additional input into their processes.
- External customers include intermediaries (subscribers who may not be final consumers) and final consumers of products and services.
- Proper definition of a target audience is a key activity that greatly influences the success of innovation.

5.2. Communication with a customer

Measuring customer satisfaction is the most important criterion in fulfilling the "feedback" principle. This principle is one of the most basic principles of an efficient management system. Information channels allow communication with the customer and provide information about the expected needs of customers and how they meet the needs of the organization.

5.3. Defining customer requirements: Required; Extended; Attractive

- The CSN EN ISO 9000 standard states: "Organizations are dependent on their customers and therefore need to understand the current and future needs of customers, meet their requirements, and try to anticipate their expectations."
- Kan's Model - This is a method of mapping customer requirements. Structured

questions help characterize different characters and clarify unclear questions.

- The model is easy to understand and usable. The model believes there are 3 types of customer requirements that affect his / her satisfaction.
 - Necessary customer requirements - if the requirements are not met, the customer will be dissatisfied. On the one hand, the customer enforces the product he wants, on the other hand, but meeting the requirements does not increase the satisfaction. Customer considers requirements as the basis.
 - Extended customer requirements - requirements are directly proportional to customer satisfaction. They increase functionality or quality, increasing customer satisfaction. The price depends on the requirements.
 - Attractive customer requirements - When meeting these requirements, customer satisfaction increases, willingness to pay even higher costs.

5.4. Innovation incentives

- Priority customers
 - Sees the need for innovation long before the product comes into the market
 - They often invent products and services themselves, for example, when they discover a lack of product
- Group of enthusiasts
 - End customers who invent various product innovations, b-software versions
- Use these contacts to get information:
 - How products are used by customers
 - What problems customers encounter and how they deal with them
- Collect customer suggestions for editing existing products
- Innovation incentives can be based on

- collection of feedback,
- consumer interest groups
- Surveys and questionnaires
- Some companies collect ideas from customers by becoming customers themselves.

Harley Davidson: "Managers take part in races and ride on motorcycles produced by the company. They see their products through the eyes of their customers, understand them better and use feedback. "

5.5. Customer Test - Concepts of a New Product

- Preliminary determination of the potential of innovation in the market.
- One of the inputs for the feasibility study.
- We will provide selected customers with the specification, drawing, picture, model and ask them to know if the product has raised their interest,
 - Whether (and why) would prefer it to competing products,
 - Whether they will be interested in the product (and at what price),
 - How the product could adapt more to their needs.

5.6. Deciding on realizing themes

- Decision making is one of the most important and most important activities of managerial work.
- Decision-making forms part of the workload of managers at all levels of management.
- The decision-making process can be divided into certain interdependent activities that take place in a time sequence and are called stages of the decision-making process.
- These stages consist of:

- Defining (identifying) a decision-making problem, which is often based on detecting a deviation of the actual state from the desired state, Planned,
- Analysis and objective and comprehensible formulation of the problem and definition of the target state,
- Creating possible solutions to the problem,
- Establishing evaluation criteria,
- Analysis of variants, determination of impacts, consequences and effects of individual variants,
- Choosing the most optimal variant, that is, the one that best meets the goals of the solution,
- Realization of the chosen variant,
- Controlling the results.

6. Decision making methods

6.1. 6 Hats

The method divides the thinking process and uses analogy to colors and / To colorful hats. First you need to create a map and then find your way.

6 hats represent different roles (rules) of thinking:

- A white hat (neutral) means a clear target, facts, numbers and information. It can be likened to a computer that only provides answers to questions and information.
- Red hat means seeing red, emotions and feelings, intuition. It moves the problem further or stops quickly.
- The black hat is characterized by the "devil advocate", criticism, pessimism. It searches for errors, mistakes, points to risks and dangers.
- Yellow hat represents sunlight, clarity, optimism, positive and constructive approach, opportunity. It is the opposite of a black hat, looking for and exploring the positive consequences.
- Green hat means creativity, fertility, provocation, sowing seeds of new ideas. Creative thinking seeking alternatives, beyond the limits of existing ideas, generates new concepts and insights.
- The blue hat represents moderation and control, conducts and reflects. It defines the subject, synthesizes, forms a choreography of thought.

6.2. Brainstorming a Brainwriting

- The basis of these methods is the open discussion of a group of people (best representing different views and views).
- The central rule is not to criticize and to talk, listen and further develop the ideas

that are most debated.

- The purpose of both methods is to create the widest set of ideas, suggestions and ideas related to the problem.
- Brainstorming is a discussion with a designated moderator that directs and leads members.
- Brainwriting in the form of brainstorming. The advantage is the elimination of negative interactions between the members of the discussion.
- The method has the following rules:
 - The six-member groups run by the moderator enter the problem and each member of the group submits three ways to solve three ideas in five minutes, three ideas.
 - It is advisable to write each idea on a separate paper or to prepare a form with three sections.

After a few minutes, papers are moved one by one, and the previous ideas recorded on the papers unfold

6.3. Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)

Is a method and a set of tools that optimizes and reduces costs, either of an existing or a new product. DFMA means that the products are manufactured in such a way as to reduce their production. DFMA makes it possible to analyze alternative production and assembly concepts and to search for new, innovative solutions. Includes feature analysis, structure analysis, product structure design, component design, evaluation and selection.

6.4. IRM and Value Analysis

The IRM Practical Planning and Communication Tool, where future requirements and the number of ways to meet them are identified. It is more of a strategic method. There are two approaches: back to the request and forthcoming from the idea. It includes the

following parts:

- General understanding of the related challenges
- Collective visions
- Map Making - Search for spaces and synergies between the current situation, visions and goals.

Value analysis is historically the oldest discipline in the field of value engineering and has inspired the creation of value management itself. Value analysis is a well-designed set of methods the purpose of which is to search for and design solutions to improve the functionality of the object to be analyzed in order to increase its effectiveness. This is an application method that perfectly reflects an existing object.

6.5. „Six Sigma“ and TOC

- „Six Sigma "is a quality management system that uses advanced statistical methods. It serves to reduce variability and improve production processes. Developed in Japanese companies.
- TOC (Restriction Theory) is an approach to reducing production completeness. It is a commonly known method, based on the fact that each system (enterprise) has its own constraint or narrow place.
- Advantages TOC:
 - Its key idea is the statement that each system has at least one constraint in itself. If this was not the case, then the system would achieve its goal indefinitely.
 - It provides a methodology for finding and using efficiently. By focusing on the weakest article, quick and real benefits are achieved.
 - They try to manage company constraints so that the constraints do not cause losses.

6.6. IDEO

The creative method of the idea is based on the theory of creative thinking of designers, artists, etc. The central element is brainstorming and visualization of the idea. The method has become the basis of the popular "design thinking" stream, or designer thinking. Another important feature is the teamwork of people with many different disciplines.

The brief procedure can be described in five phases:

- Understanding the market, customers and technology.
- Observing current and potential users in real-world conditions and situations.
- Visualization of new concepts and new customers who could use them using prototyping, models and simulations.
- Evaluate and fine-tune prototypes in a series of quick iterations.
- Introduction of a new concept and its commercialization.

6.7. Stage-Gate

Approach characteristic of science and research. It is used to systematize and accelerate the evaluation of the results of Science and Research.

Process "Stage-gate":

- Finish the laboratory tests and make sure the product meets the requirements.
- Test the product in a semi-rig and make sure it is fully compliant.
- The semi-pilot product is provided for testing to selected customers.

- Then an overview of all the information is made to make sure that the product is fully compliant or to provide additional resources (raw materials, machines, etc.)
- After we make sure that the product can be manufactured, we will start preparing the final sales plan.

It is important to ask why someone should buy a new product or why should it welcome innovation? Assessment should be a matter of knowledgeable, but also of people with an understanding of other contexts.

7. Trend analysis

7.1. Rules for promoting innovation in the EU

- At present, public aid for innovation is authorized by Commission Regulation (EC) No 800/2008 of 6 August 2008 declaring certain categories of aid compatible with the common market in accordance with Articles 87 and 88 of the EC Treaty (General Regulation On block exemptions).
- This new (general) state aid regulation in EU countries is based on the Community framework for state aid for research, development and innovation (Official Journal of the EU 2006 / C 323/01).
- Both of these rules are built on the above-mentioned principles of public support on the basis of identified market failures.

7.2. Switzerland

- According to the Global Competitiveness Index 2007, 2008, Switzerland is ranked second.
- The best results from all the countries surveyed are achieved by Switzerland in the indicator of the quality of research institutions and in the level of R & D expenditures in the corporate sector.
- In 2004, these expenditures reached 2.2% of GDP, which is one of the highest figures in OECD countries.
- It is also worth noting that private R & D expenditure accounts for around 70% of total R & D expenditure in Switzerland.
- Switzerland is significantly ahead of other European countries in patent activity where it reaches over 300% of the average.
- Switzerland's high research, patent and innovation activities are based on the strong industrial tradition of the country and a significant representation of the world's pharmaceutical industry, for which there are typically high investments in new drug research.

- This reflects the fact that the Swiss innovation system is primarily based on corporate sector investments in research, development and innovation, and in limited government intervention through direct support instruments.

7.3. Germany

- Germany belongs to the traditionally technologically advanced countries and ranks among European innovation leaders. In the International Competitiveness Competitiveness Index 2007 - 2008, Germany ranked 5th.
- Among the factors, Germany is well appreciated especially in the area of intellectual property protection, access to education and research services, anti-trust policy effectiveness, professional management of companies, availability of state-of-the-art technologies, the quality of research organizations and the amount of R & D spending.
- A more detailed view of innovation performance:
 - Patent activity to approximately 250 % of the EU-27 average,
 - High employment rates in high-tech industries and turnover from innovative products.
- One of the important advantages of Germany's innovation system is the high corporate R & D expenditure, as confirmed by the international comparison of the European Innovation Scoreboard. These expenditures reached almost 1.8% of GDP in 2008, which is the highest in the EU-27 after Sweden and Finland.

7.4. Finland

- Finland is among the countries that have long been at the forefront of competitive charts.
- Finland has ranked sixth in terms of the Global Competitiveness Report 2007-2008.
- According to this assessment, Finland is ranked among countries whose econom-

ic growth is based on the application of innovation.

- Finland is among the countries with the largest total R & D expenditure, which in 2005 exceeded 3.5% of GDP.
- Corporate R & D spending, which exceeds 70% of total R & D expenditure in Finland, is much higher, which is much more than the EU-27 average.
- Public spending on R & D is well above the European average (more than 150% of the EU average), which is also reflected in significantly above-average public support for R & D and innovation in enterprises.

CONTENT:

- Promoting innovation - general approaches and tools
- Overview of R & D policies in selected countries:
 - Finland
 - Switzerland
 - Germany
 - Austria
 - Denmark
 - Great Britain
 - Ireland

7.5. Innovative and modernizing business strategies

At present, the state's efforts to improve the environment for the development of entrepreneurial activities (especially for innovative growth-oriented enterprises and start-ups) are evident.

For example:

- Creation of on-line information systems for enterprises that provide information related to innovative entrepreneurship, allow entry into databases, ease of use in valid legislation, standards, etc.;
- On-line business consultancy (eg in connection with business, licensing, export, etc.);
- Systemic simplification of public support for SMEs (unification of programs) and reduction of administrative burden both on the part of entrepreneurs (applicants for aid) and on the part of public support providers (creation of a one-stop shop);
- Changes to legislation that stimulate the creation of a pro-innovation environment (eg technology transfer in public research institutions and its strategies).

8. Product analysis

8.1. Product and service definition

The product can be defined as follows:

- The product is anything that can be offered on the market, what gets attention, what can be used for consumption, what can satisfy the desire or need.
- The product is a manufactured estate with objective and subjective features that are manipulated to maximize the appeal of goods to consumers who buy items and to satisfy their needs.
- We can define the product / product as everything we can offer to buy, to use for consumption - what the PPO (needs, requirements, expectations) of potential and existing customers meet.

The term service as an economic category is defined as:

- The kind of product that is the essence of activity-performance and value is determined by the utility it brings to the consumer as a result of the desired change. There is no ownership transfer in the production of services.
- When defining the term "service", we are usually dealing with the term "product". It is the result of an activity that has value for the customer as it satisfies its needs. We also understand the job as a service, in which we distinguish the following items as the final product:
 - Process (creation, delivery, provision).
 - And the result (process).

8.2. Analysis of product demand for target groups

There are different methods of analyzing and synthesizing market information to which

products and services are directed.

However, clear conclusions must be drawn from the market analysis on the following factors in particular:

- Sizes of supply and demand,
- The needs and characteristics of target entities (potential customers),
- The importance of competition, respectively. Alternative to meeting established needs.

The analysis must answer in particular the following questions:

- Who is the target customer or User services and products?
- How high demand for services can be expected?
- What are the alternatives available to the target user to realize their needs?
- How high is the client willing to pay for the product?

The analysis of the current offer must answer in particular the following questions:

- Is there competition, the market share of competition?
- How challenging is the transition from one provider to another?

8.3. Marketing strategy

The marketing strategy must include:

- The mission of a given product or service - it is a presentation of basic activities and functions in relation to the market respectively. Potential project users.
- The main strategic goal - the state to be achieved through the implementation of services.
- Selected strategies - Selected diagrams for how the main goals are to be achieved.

8.4. Marketing mix

"Marketing mix" is the relationship between the intended product and the market from four basic aspects (four "P"):

- The product ("CO" - the resulting product or service) - description of the products and services and specification of the needs for which the product should serve.
- Price (Price and pricing policy) - The decision for which prices will be provided for each product and service.
- Place ("KDE" - Place of Products or Services) - A description of the distribution routes that products and services receive from the provider to the consumer.
- Promotion ("JAK" - Promotion - Communication mix) - a detailed description of all communication channels used in the promotion of services.

The decisions contained in each of these points are to a large extent influenced by the decisions of the previous point.

8.5. Product requirements specification

Contains detailed information needed to create the product design. These details should be specified for each function of the system, to meet the characteristics listed below in the product's qualitative characteristics.

Requirements can be categorized into, for example:

- Function requirements
- Performance requirements
- Property requirements (attributes)

Basis for specifying requirements

- Understanding of user needs

- Knowledge of business processes and rules
- Analysis of used documents

High Quality Specifications

- Completeness (to include all requirements)
- Consistency (irreconcilability - individual requirements must not contradict each other)
- Parameterization of requirements (quantitative and qualitative attributes are assigned to requirements)
- Categorizing users
- The same level of detail (if necessary, it is possible to structure the document to other levels)
- Controllability

Types of requests

- Functional requirements represent a basic subject of the system and are measured by specific means such as data values, logic and decision algorithms. Functional requirements specify what the product should do.
- Non-functional requirements are behavioral characteristics that have defined functions such as performance, user, etc. Non-functional requirements can be assigned to a particular measurement method. This example provides examples of quantification of non-functional requirements. Non-functional requirements specify what features a product should have.
- Project constraints determine how the end product can be applied in the real world. For example, a product needs to use a particular interface or use existing hardware, software, or business, it must fit into a set budget and be ready for a predetermined date.
- Project incentives are business-related forces. For example, the product's purpose is a project stimulus as well as all stakeholders in a project - of which each project participates for various reasons.
- The project questions determine the conditions under which the project will be developed. We include these requirements in our requirements so that we can provide you with an overall picture of all aspects that contribute to the success or

failure of the project.

8.6. Product value for the customer

- KOTLER, in his Marketing Management publication, Philip defined customer value as consumer value added, which means the difference between the total consumer value (the set of benefits the consumer expects from the product or the service) and the total consumer price (the set of costs the customer has to spend).
- Value is always a subjective matter, as it is more about how the customer perceives the product or service than it could be determined by the seller objectively. This perception of the product compares the customer with what he has to sacrifice, to pay.

The process of providing value

- Choice of value. This is a phase that must take place before any product is created. Marketing needs to segment the market, select a suitable target market, and find a market place for the value offered. Segmentation, focus and market placement are the core of strategic value marketing.
- Providing value. Marketing must at this stage decide on the product's (product) benefits, pricing, and distribution of each.
- Communication of value. The task of this phase is to use the power of personal sales, sales promotion, advertising and other tools to report and then promote the product.

8.7. Values circle

The circle of values expresses what we and our business provide to our customers and what they do to our business.

- **Company - customer:**
 - Product, quality, sales promotion, consulting, service packages, ...
- **Customer to the company:**
 - Financial reimbursement, loyalty, loyalty, recommendations, ...

- **Company - Employee:**
 - Backstage, security, job opportunity, reward, motivation, protective work aid

- **Employee- Company:**
 - Knowledge, plans, loyalty

8.8. Phase of the value process

- It is the endless process of constantly revealing the value of the product or service to the customer;
- Adaptation of the company, in particular the marketing strategy of these findings;
- Creating the desired value (or not only required, but also anticipated, or beyond expectations, innovative, creative);
- Customer feedback feedback and on-the-fly fact-finding, implementation and implementation into business processes;

If an enterprise does not recognize and do not apply the principles of value management, it can not survive in today's very strong competitive environment.

9. Product innovation

9.1. Preparation and planning of new products

The dominant position of a product in the business is that it is a means of meeting the needs of customers and by selling products is the income from business. New products are generally considered to be "life-giving blood of business".

Strategic factors for product innovation



The importance of careful preparation and product planning is also underlined by these factors:

- High competition on the market for all kinds of products,
- Constantly accelerating innovation cycles,
- Great product variability potential,
- The impact of products on productivity, quality and competitiveness of business,
- The product is an integrative component of business activities,
- The complexity and risks of developing new products.

In business, the importance of products is often underestimated. The reason for business failure is often the lack of credit, ownership relationships, old machines, management, and so on.

The primary causes of failure are:

- Products do not meet customer needs,
- The products are material and energy-intensive and have high labor,
- Products are poor, obsolete, uninteresting, poorly available, etc.,
- Products are produced by obsolete technology and uneconomic.

9.2. Classification of products

Products are classified according to several characteristics. Product type identification is needed to understand system relationships in business and development management.

- Product Domain Competence: It speaks about the constructional kinematic ties of the main technology, areas of use, standards, and so on. For example: electro technical products, tools, automobiles, production machines and the like.
- Use of the product for example consumer products, component manufacturing equipment, etc.
- Product life: Short and long-term consumption products, seasonal products.
- Technological characteristics: Classic products, high-tech products.
- Manufacturing Mode: Bulk, serial, custom products, standard / special products.

Depending on the level of product differentiation:

- Category - defines the main function.
- Form - defines important features,

Depending on the relationship to the product range, we distinguish it:

- The basic product - a representative that meets the customer's expectations and acts as a standard.
- Extended product - features additional features.
- Production line - a set of products of a given group with certain characteristics.
- Potential product - future product with improved parameters.

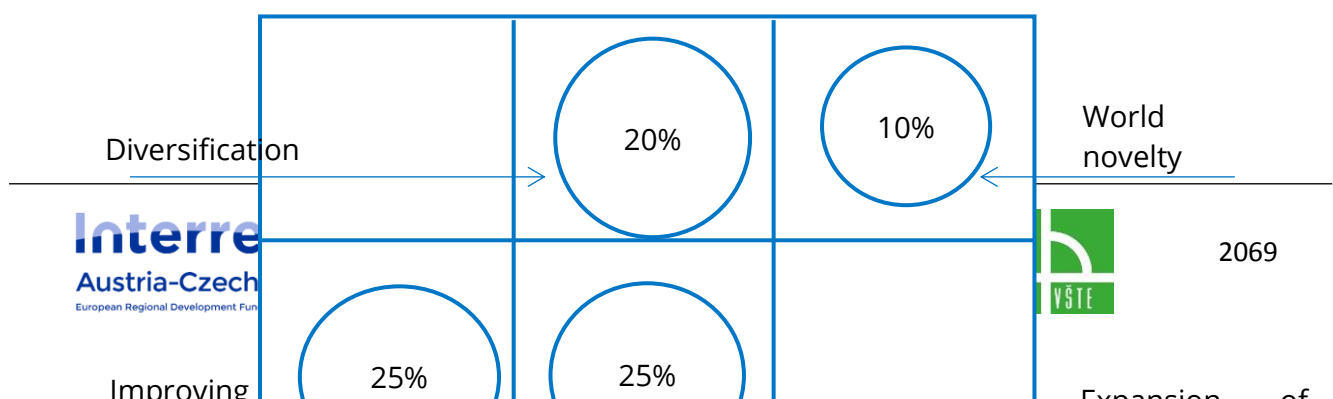
9.3. How to prepare a new product

As an example of the methodology for preparing new products, we classify them according to Crawford C.M., (1996):

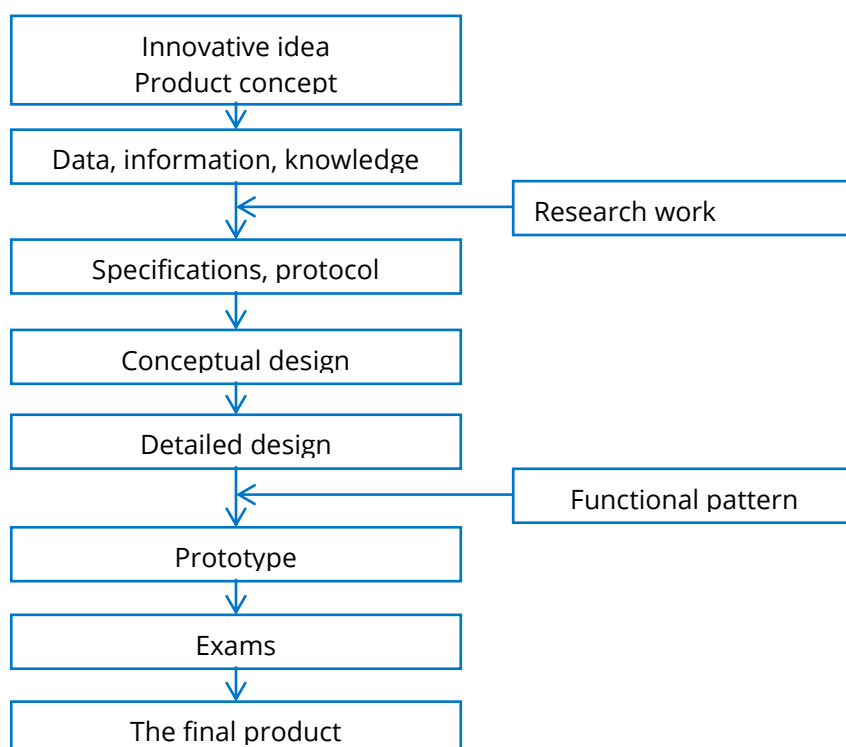
- Making Production Ideas
- Product concept
- Testing the concept
- Protocols development (product specification)
- Prototypes of the product
- Testing prototypes
- Pilot products
- Serial products
- An important characteristic in the preparation of product innovation is the location of the innovative project according to the market position and the level of novelty.

Inclusion of product innovation

New - firm



Overall process of preparation of the innovated product



9.4. Stages of Product Innovation - Product Specifications

There are two borderline product specification cases

- The specification is unambiguously given - An example is the unambiguous customer order for custom-made products. The specification is limited to checking the reality of the parameters, respectively. Their changes within the established limits.
- Specification is completely indefinite - Typical example of significant innovation. In this case, the specification may be the most important phase of product creation.
- In order for the specification to meet the objectives, it must touch upon all attributes of the product, i.e. the specification of the parameters:
 - Functional
 - Economic
 - Technological and material
 - Legislative
 - Marketing
 - Developing countries

9.5. Design of the product

The construction of a product is sometimes mistakenly considered to be a complete development because a large amount of work is concentrated in this phase. Typically, a conceptual design and a detailed design of the product are distinguished.

Typical conceptual design solutions:

- Product structure - basic shapes and main parts and their relationships,
- Function distributions and their main carriers - materials, components, dimensions, strength calculations,
- Functional diagrams,
- Energy transfer, power movement,
- Spatial arrangement,
- Principles of control and control,

- Physical models to verify principles.

Typical detailed design solutions:

- Components, elements, nodes
- standardization,
- Dimensions, shape, tolerance,
- Technology,
- Accuracy, dimensional circuits,
- reliability,
- materials,
- surface finishes,
- Service, spooling.

9.6. Testing of product development

Like other areas, testing and testing are undergoing a dynamic development, driven by:

- Shortening the time of developing new products,
- Reducing test and test costs,
- Enriching tests with new attributes (eg environmentalism, safety, comfort of use),
- Reduce the risk of uncovered product weaknesses throughout the life cycle,
- International compatibility of tests and certification,
- New testing technologies (personal infiltration of information and communication technologies).

Stages of the innovation cycle - Testing function

Product idea	Validation of the functional principle Obtaining basic knowledge for conceptual solutions
Product concept	Determination of the main product parameters Deciding on solutions Information for implementation decisions
Product development Constructional solutions	Data for detailed design, support for solutions of strength, dimensional, functional, operational and other characteristics
Prototype	Validation of an innovative solution Information for product improvement and technological preparation of production

The final product	Tests prescribed by the customer, respectively. Standards
Production	Tests to improve technology Preparation of continuous innovations
End of product life	Product recycling information

9.7. Competitiveness of innovative products

Evaluating and improving the product's competitiveness is associated with a large number of attributes (tens to hundreds of complexity). For analysis purposes, it is necessary to implement 3 product attributes:

- Product function (customer relationship)
- Product characters (product-related)
- Benefits (relationship to business as a whole)

Functional parameters of the product:

- by versatility
 - Product-specific (speed, volume, ...)
 - Universal (life, reliability, price)
- by product line
 - Basic - determining functions
 - Additional - additional values to basic functions
 - Supporting - are not essential to the existence of the product but improve the market potential for product existence but improve market potential

Product Marketing Parameters:

This set of parameters creates the initial conditions for future product sales. Typical examples:

- Price cap and modifier for different customer segments (product image, person-

ality traits)

- Influence on the distribution system (delivery time, instead of modification)
- Product execution (low, average, production, top level)
- Style (the impression of the product on the customer)

Technological parameters of the product:

- Material intensity
- Invested investments
- Energy intensity
- Technology
- Production
- Mountable
- Impact on capacity utilization
- Proportion of standardized parts
- Manipulability

10. Innovation of production systems

10.1. Methodological aspects

The production system is a structured set of resources whose function is to transform the inputs (raw materials, semi-finished products, energy, ...) into desired outputs (products and services).

Main Components:

- Objects on which the required transformations are made (material, components ...),
- Active agents (operators) that perform the transformation, i.e. humans, machines, apparatus, physical environment,
- Processes through which changes in shape, dimensions, configuration, locations, ...,
- Inputs and outputs, i.e. components, connections with the environment,
- Material, energy, and information flows that create the overall architecture of the system and connect its components to the whole,
- Auxiliary components that are not directly involved in outputs, but provide system operability (maintenance, tools ...),
- Space and time as the inevitable attributes of each system.

It is important to distinguish between system variants for planning innovations in manufacturing systems. The basic classification is:

Production objects

- Material-intensive production
- Processing
- Customer production
- High-tech production

Dominant technologies

- Changing the shape, dimensions and properties of the materials
- Structure change, technological processing and assembly
- Position change and orientation (logistics)
- Processing of information (services)

Production volumes

- Piece production
- Serial production (production in thousands of pieces)
- Mass production (10 thousand and more)

Branch affiliation and production

- Production of transport equipment
- Machinery and equipment
- Manufacture of consumer goods

Complexity and assortment

- Component specialization
- Aggregate specialization
- Product specialization
- Diversified production

10.2. Main tasks for innovations in the production system

- Determination of the total production capacity of the system.
- Capacity division into functional units or technological units
- Design of transformation processes (technology).
- Specification of means of production (technology, people) for the implementation of technology in individual components.
- Specify what will be produced and what to buy.
- The overall layout of the system, inputs, outputs, material, energy and information flows

Some other important parameters of the production systems

- Level of automation
- Continuity of processes
- Level of standardization
- Level of specialization management
- Ecological impact

10.3. The process of innovation of production systems

Phase of creation

- Analysis of requirements and setting of specific objectives.
- Solving the transformation processes.
- Determining the capacities of the production sources.
- Detailed analysis of operations, procedures and technology.
- The spatial arrangement of production.
- Organization and production control.
- Project documentation.

Implementation phase

- Preparation of Infrastructure Spaces and Networks.

- Deliveries of technical equipment and assembly.
- Integration of the production system.
- Revival of work and exams.
- Preparation of staff, training.
- Trial operation.
- Continuous operation, maintenance and development.

10.4. Technology innovation

Technology is defined as a set of processes, patterns, rules and habits used in the production of different types of production in any sphere of production. Technology essentially determines ways to convert raw materials, materials and semi-finished products into finished products for the market.

The main components of the production system:

Technological processing

- Change of geometric, physical and other properties of production objects (sequence of object changes).

Manipulation

- Change of place, orientation and fixation of objects (material flow)

Management, information management

- Activities related to coordination, synchronization and optimization of production (information flow).

Innovation requirements for modern customer-oriented production are:

- A significant increase in productivity and quality
- Savings in consumption of resources (labor, materials, energy and capital)

- Flexibility of the production system
- Environmental research and use of recyclable materials
- Prerequisites for high working culture (elimination of heavy, dangerous, monotonous and otherwise inappropriate work)
- Innovations at the operational level of the technological process
- Exploiting the potential of globalization
- Orientation to low-waste and energy-saving technologies

10.5. Operational innovation

Elimination of critical operations

- Operations in which poor quality products are produced
- Long-time operation causing non-synchronism
- High cost operations
- Operations often causing failures and production downtime

Optimization of operational procedures

- Sequence of loop operations
- Minimum production costs
- Integration of technological, manipulative and information components in the technological process

10.6. Innovation based on automation and greening

Automation is a process in which the physical and mental activity of a person is replaced by the action of technical means. More recent definitions consider automation to be a technology that uses program instructions and devices to perform the given processes, while information feedback ensures the correct execution of instructions.

Numerical control of machines (NC and CNC), industrial robots and automatic manipulators, flexible transport systems and their integration into automated cells, systems and plants represent the most important direction of innovation of production systems.

The benefits of automation are:

- Reduce labor
- Stability of quality
- Increase management level
- Synchronization of operations
- Material and energy savings

10.7. Low-waste and energy-saving technologies

Saving materials

- Use of new materials (non-efficient, cheaper, with higher performance and better recyclability).
- Use of noble materials (alloyed, heat-treated, composite) with lower weight for given functions.
- Use of semi-finished products with better initial properties (eg precision castings).
- Using technology with tool and product savings.
- Recycling of waste directly into the production process.
- Renovation of tools and worn out equipment components.
- Reducing the share of irreparable confusion.

Energy savings

- Selection of materials and technologies taking into account the energy demands.
- Load control, automatic shutdown of machines, etc.
- Reduction of friction (cutting fluids, lubricants) thermal insulation, etc.
- Waste heat utilization for technological processing.

11. Business plan

11.1. Project implementation plan

The implementation phase begins with the decision to accept the project, followed by the elaboration of the technical documentation, the negotiation and conclusion of the contracts, the own investment construction and the start up of the production unit. All these phases contain tens to thousands of sub-activities and activities that need to be intertwined and coordinated.

- The plan for the implementation of the project should primarily specify
- Activities to be secured
- Terms in which activities need to be completed
- Persons responsible for implementing individual activities
- The resources that the implementation of activities will require
- Results to be followed by individual activities
- Relationships and activity dependencies
- Activities that are critical to project success and need attention

11.2. Syllabus of business plan

- The business plan (PZ) is a key part of the project - it should describe with sufficient persuasiveness all the important points of the project. Therefore, it should be the guiding principle both for applicants and for those who will decide whether or not to accept the project.
- The recommended business plan is designed to provide the assessor with an answer to all questions that are relevant to the evaluation of the project. The CA should not contain the data that will be required in the application (project identification data, etc.), but the applicant should refer to them in the relevant chapters.
- The PZ should not exceed 30 content pages.

A) Brief summary of the project content

- up to 3 pages (the most important facts, including the description of the project location)

B) Need for and relevance of the project

- The focus of the applicant's activity in terms of technological excellence of products
- Site of the project,
- The expected level of innovation of R & D results
- Does the project have a relationship to protecting or improving the environment? Will the project lead to regeneration of "brownfields"?
- Description of the current position and form of the Applicant
- Description of the Applicant's innovative process and its historical development

C) Applicant's readiness to implement the project

- The feasibility of the project in relation to the description of the investment projects and their financing carried out by the applicant in the past 3 years, the nature of the organization organization of the project implementation
- Characteristics of subsystem functions
- List of all acquired tangible and intangible fixed assets for R & D from project funds in relation to the budget of the project, including specification of their technical parameters and the expected maximum price
- A list of planned non-investment expenditure
- Way of ensuring qualified human resources
- Technical feasibility of the project implementation, continuity of the stages of the solution
- Partnering for the project
- Description and classification of the existing research capacity (R & D department) in the Applicant's organizational chart, the method of its management
- The reason for the foundation or extension and the expected benefit for the Applicant

D) Contribution of the project to the further development and competitiveness of the

applicant

- The planned type and number of VIK results (research solutions leading to new products and processes, realized results of R & D in the form of innovations, prototypes, procedures, patents, licenses) and clearly defined changes in technical parameters to existing R & D results in relation to their implementation and applicability to Market
- Quantification and logical justification of the economic benefit of the project solution for Applicants,
- Future VIK involvement in external commercial co-operation
- The impact of the project implementation on the applicant's future development including potential economic and non-economic benefits

E) SWOT project analysis and response to weaknesses and threats to the project

F) The basis for the bonuses described in the selection criteria

12. Serial production and marketing, product lifecycle

12.1. Serial production and marketing

Production is a decisive factor in the success of the business. It is an article that must bring the ideas of designers and technologists "to transform" into reality. If the production does not work properly, an enterprise can not compete. Production thus becomes the strategic weapon of every business, and as the company can use this strategic weapon, it decides to a great extent about its success or failure.

- Manufacturing is the purposeful activity of a person in which production inputs are transformed into production outputs.
- Production inputs are production assets such as raw materials, energy, materials, and semi-finished goods that enterprises use in their production processes.

- Outputs are products which are either used for manufacturing as manufactured goods or are consumed as consumables.
- Products used for further production are intermediates, respectively. Semi-finished products, products intended for consumption are final products.

Each production is represented by 5 basic elements. They are:

- Object of production - products,
- Production executives - workers, machines, tools,
- Methods - means and ways to implement activities,
- Place - where the activities will be implemented, where and where the results of the production will be transported,
- Time - time course and duration of activities.

12.2. Types of production

The type of production means the sum of the technological features of the production resulting from the characteristic features and the technical and economic function of the manufactured products.

The criterion for defining the essence of each type of production is the degree of repeatability, resp. The degree of constancy of the product manufacturing process over a period of time.

We know these 3 types of production:

- Mass,
- Serial,
- Piece.

Mass production type

For enterprises with mass production are considered enterprises where the production of one or a small number of products produced in large quantities prevails. These enterprises have a high repeatability (the highest of all types), a high degree of stability of the production program, and the use of special production facilities for one type of product.

Serial type of production

Serial production is the most common in companies. It is characterized by making multiple products in succession in a limited number (series) on the same or different production facilities.

The main features of series production can be summarized as follows:

- The product, in its nature, resembles a product of mass production, while in the production of a limited quantity, the individuality of the product can be emphasized and more flexible to market requirements.
- The technical preparation of the production is similar to mass production, but it is not so detailed in terms of the width of the assortment and the range of production.
- The division of labor is applied to a lesser degree than to mass production, as shown by the universality of the work of the workers.
- The level of labor productivity is also lower.
- The production process is organized more complexly and costly.
- Products are made in batches and parts of products are put into production in batches.

Depending on the degree of repeatability, we divide serial production into

- Large-volume,
- Medium-range,
- Small-series.

Piece type of production

The basic feature characterizing piece production is the unrepeatability of individual types of products and works, or repeatability after a certain longer time interval.

Piece production is characterized by these individualities:

- Individual finished products differ from each other, each product represents a new kind of response to the imagination user.
- Due to the above mentioned characteristics, each product requires a separate technical preparation of production, which is very demanding, extensive and costly.
- Frequent replacement and adaptation of workplaces, or modification of ma-

chines, place increased demands on time consumption and work interruption.

- Workers carry out diverse jobs, leading to their versatility, requiring a high degree of qualification.
- The lowest technical level of production.
- High costs associated with material storage and high production progress.
- Irregular use of production facilities.

Placing the product on the market

The regulations in the supervisory competence of the CTI regulate the marketing of products, in particular Act No. 102/2001 Coll., On general product safety, and Act No. 22/1997 Coll., On technical requirements for products.

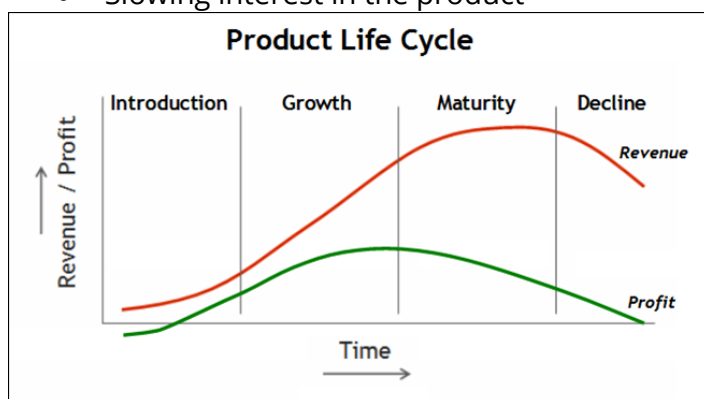
12.3. Product lifecycle

The product lifecycle is used in two meanings:

- Product life from raw material extraction through production and use to disposal as waste. - LCA (we do not focus on it in this presentation).
- The "life" of the product in the enterprise from the product launch phase to the downside of product interest and withdrawal from the market.

The life cycle of the product graphically describes the S-curve

- Product introduction
- Growth of interest in the product
- Cognition of interest and product maturity
- Slowing interest in the product



Product introduction

At this stage, we place the product on the market.

- Of course, costs are greater than revenues.
- At this stage, we can choose the right market entry strategy for our product from:
 - Strategy of quick revenue collection
 - Strategy of slow revenue collection
 - Fast penetration strategy
 - Slow Penetration Strategy

Growth phase

- The product is getting more and more at this stage, and we are invested in producing and maintaining product popularity.
- Customers who have purchased our product are expanding their advertising by recommending it to their friends. This form of advertising is the best for the company because it is the most effective and nothing is worth.
- At this stage, the price of the product changes only to sellers who used low prices as a lure in the previous stage.
- At this stage, we are financing the modification of our product.

Phase of maturity

- It is characterized by a constant increase in sales or their decline → the amount of sales stabilizes.
- This phase is usually the longest in the "life" of the product.
- The market is overwhelmed by our product, we react by lowering the price so that our product can be afforded even by those who have not yet gotten it.
- It is good to publish a new ad campaign to remind our product again.

Phase of product attenuation

- This is not a short-term revenue cut, but a long-lasting revenue-reducing trend.
- At this stage, production is no longer going on, but stocks of products in the warehouses are not liquidated.
- These are used by the company as spare parts for service repairs of already sold products. These products are recommended to store about ten times the product life.

Interreg



Rakousko-Česká republika

Evropský fond pro regionální rozvoj



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA



EUROPEAN UNION