

Materiály a technológia

2015

Materiály a technológia

Autor: Mgr. Ján Širka, PhD.

Editor: Mgr. Ján Širka, PhD.

Recenzenti: doc. Ing. Čestmír Serafín, Dr. Ing-Paed.

doc. PaedDr. Gabriel Bánesz, PhD.

Vydavateľ: Pedagogická fakulta UKF v Nitre

Rok vydania: 2015

Rozsah: 124 strán, 6,2 AH

Náklad: 50 ks

Tlač: elektronická učebnica

ISBN 978-80-558-0838-3

EAN 9788055808383

Obrázok 1 Periodická sústava prvkov (zdroj http://webfyzika.fsv.cvut.cz/1tab.htm)	11
Obrázok 2 : Model iónovej väzby. Atóm sodíka odovzdá valenčný elektrón atómu chlóru, čím sa z nich stanú kation a anión. (zdroj http://www.materialing.com/vazby)	13
Obrázok 3: Kovalentná väzba medzi dvoma atómami vodíka. (zdroj http://www.materialing.com/vazby)	14
Obrázok 4: Van der Waalsová väzba (zdroj http://www.materialing.com/vazby)	15
Obrázok 5 Kubická mriežka primitívna (zdroj http://sk.wikipedia.org/wiki/Kubick%C3%A1_s%C3%BAstava)	15
Obrázok 6 Stavba kubickej plošne centrovanej mriežky: a – základná bunka, b – vznik mriežky z dvoch primitívnych kubických mriežok, c – guľový model (zdroj, http://sk.wikipedia.org/wiki/Kubick%C3%A1_s%C3%BAstava)	16
Obrázok 7 Hexagonálna mriežka s najtesnejším usporiadaním: a – guľový model, b – znázornenie koordinačného čísla (12 atómov je rovnako vzdialených od atómu A)(zdroj, http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=1038)	17
Obrázok 8 Úprava železnej rudy na drviacich válcoch, drviacom kuželi a triedenie na elektromagnetických triedičoch(zdroj, JAKÚBEK, P Nauka o materiáloch)	21
Obrázok 9 Zariadenie na hrudkovanie železnej rudy – hrudkovacia rotačná pec (zdroj, JAKÚBEK, P Nauka o materiáloch)	21
Obrázok 10 Vysoká pec s príslušnými technologickými zariadeniami (zdroj,.....)	22
Obrázok 11 Bessemerov a Thomasov konvertor k úprave surového železa (zdroj, http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html#oceli)	25
Obrázok 12 Schéma elektrickej oblúkovej pece s priamym ohrevom, kde elektródy sú uložené zvisle a oblúk sa vytvára medzi každou elektródou a vsádzkou http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html	25
Obrázok 13 Elektrická indukčná pec s vertikálne usporiadanými taviacim žliabkami, 1 – medený induktor s privedeným striedavým prúdom, 2 – kov, 3 – taviaca nádoba (http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html#oceli)	26
Obrázok 14 Schéma kyslíkového konvertora (zdroj http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/02ocel.php)	27
Obrázok 15 Krivky ochladzovania a ohrevu čistého železa	28
Obrázok 16 Rovnovážny diagram metastabilnej sústavy železo – uhlík Fe- Fe ₃ C (bez peritektickej zmeny), diagram stabilnej sústavy je vyznačený čiarkovanou čiarou	29
Obrázok 17 Schéma priebehu tepelnej úpravy ocele http://ebook.veda-hrou.cz/cms/14-kapitola-4-tepelne-zpracovani-oceli.html	30
Obrázok 18 Obrázok xy Martenzitická mikroštruktúra - pri rýchlosti ochladzovania 300°C/s, tvrdosť 412 HV 30 http://ebook.veda-hrou.cz/cms/14-kapitola-4-tepelne-zpracovani-oceli.html	32
Obrázok 19 ARA diagram - diagram Anizotermického Rozpadu Austenitu. (zdroj, http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2888)	32
Obrázok 20 Martenzitická mikroštruktúra - a- po rýchlosti ochladzovania 300 °C/s, tvrdosť 412 HV 30, b – po rýchlosti ochladzovania 70°C/s, tvrdosť 305 HV 30 (zdroj http://ebook.veda-hrou.cz/cms/16-kapitola-6-vyrobky-z-oceli.html)	33
Obrázok 21 Pod mikroskopom sú viditeľné štruktúry perlitu medzi kryštálmi feritu. Oceľ s obsahom 0,765 % C. http://sk.wikipedia.org/wiki/Perlit_%28metalurgia%29	33
Obrázok 22 Schéma rozdelenia zliatin hliníka (zdroj, http://praceskovmi.sk/hlinik-tazba-spracovanie-a-jeho-vyuzitie/)	35

Obrázok 23	Schematické znázornenie používaných hliníkových zliatin (zdroj http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/Zliatiny-hlin%C3%ADka_teorie.pdf).....	36
Obrázok 24	Obrovské kalové pole v Žiari nad Hronom (zdroj http://www.sme.sk/c/5580001/toxicka-jazera-s-kalom-mame-aj-u-nas-ziaru-vraj-katastrofa-nehrozi.html).....	37
Obrázok 25	Rýdza meď – Kuprit nájdený v Ľubietovej (zdroj http://www.mineralogickyspolok.sk/lubietova.html)	39
Obrázok 26	Zlato sa dá v prírode nájsť aj v čistom (rýdzom) stave	40
Obrázok 27	Puncové označenie zlatých predmetov (zdroj, http://www.vykupzlata.sk/puncove-oznacenia).....	41
Obrázok 28	Zlatá pagoda v Bangkoku, Wat Phra Kaeo, Golden Chedi,, (zdroj, http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%B4bor:Bangkok-Wat_Phra_Kaeo-Phra_Sri_Rattana.jpg)	43
Obrázok 29	Rozdelenie plastov a skratkové označenie	61
Obrázok 30	a) monomér, b) polymérny reťazec, c) polymerizácia styrénu (etenylbenzénu)vzorec (zdroj, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aluminium-trichloride-monomer-3D-vdW.png)	62
Obrázok 31	Rozdelenie plastov podľa správania sa vplyvom tepla (zdroj, http://slideplayer.cz/slide/2784255/)	64
Obrázok 32	Výrobky z polyetylénu (zdroj, http://www.solid1.sk/page2/page8/page8.php).....	67
Obrázok 33	Využitie polystyrénu v praxi (zdroj, http://www.rekons.sk/zateplenie-polystyrenom-finalnou-fasadou)	68
Obrázok 34	Príklad na využitie polyvinylchloridu (zdroj, http://www.hledejsoucastky.cz/LastSearches/Show?lastsearch=30117)	69
Obrázok 35	Príklad na využitie polytetraflóretylénu. (zdroj, http://www.rezbarstvo.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=118:tiepacie-sekery-fiskars&catid=29:nastroje&Itemid=52)	70
Obrázok 36	Polyamidové predmety. (zdroj, http://www.bronzmetal.com.tr/02_12.asp)	71
Obrázok 37	Výrobky z polyuretánu. (zdroj, http://www.tenart.cz/kategoria/technicke-plasty/polyuretan-pur/polyuretan-pur/)	71
Obrázok 38	Fenolformaldehydové výrobky. (zdroj, http://www.technicke-plasty.cz/textilit)	72
Obrázok 39	Výrobky z prírodného a syntetického kaučuku. (zdroj, http://www.chtf.stuba.sk/ktrp/asfalt/)	74
Obrázok 40	Injekčné vstrekovanie (zdroj http://www.strojarskatechnologia.info/24-spracovanie-plastov/).....	74
Obrázok 41	Technologický schéma postupu práce na vstrekovacom lise (zdroj, http://ok1zed.sweb.cz/s/01-machine-tech/plast.htm)	75
Obrázok 42	Tvárnienie vytlačáním. 1 – plastifikačný válec, 2 – výhrevný systém, 3 – oceľový slimák, 4 – usmerňovacie sito, 5 – jadro, 6 – sypký materiál, 7 – násypka, 8 - výrobok (zdroj, http://ok1zed.sweb.cz/s/01-machine-tech/plast.htm)	76
Obrázok 43	Tvárnienie plastických látok lisovaním. 1 - horný diel formy, 2- forma (tvárník), 3 – spodný diel formy, 4 – tvárnica, 5 – surový materiál, 6 – vyhrievacia sústava, 7 – vyhadzovací mechanizmus, 8 – výlisok (zdroj,	77
Obrázok 44	Základné možnosti experimentálneho usporiadania pri skúške ohybom http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2009/10/POLYMERY-Po-RECENZII.pdf	78

Obrázok 45 Usporiadanie skúšky na určenie teploty mäknutia podľa Vicata (zdroj, Liptáková, T., Alexy, P., Gondár, E., Khunová, V., Polymérne konštrukčné materiály, 2012)	80
Obrázok 46 Štruktúra skla, rozdiely medzi štruktúrou: a) kryštalického SiO ₂ (kremeňa), b) skleneného SiO ₂ (skla). http://www.sklarskauniverzita.sk/2013/12/april-2013-zakladne-informacie-o-skle/)	83
Obrázok 47 Obrázok xy Sklárske huty na Slovensku (zdroj, http://www.sklarskauniverzita.sk/2013/12/april-2013-zakladne-informacie-o-skle/)	84
Obrázok 48 Panvová pec (zdroj, http://www.sklarskauniverzita.sk/2013/12/april-2013-zakladne-informacie-o-skle/)	85
Obrázok 49 Fúkanie skla. (zdroj, http://www.sklennysen.sk/)	88
Obrázok 50 Tepelno-izolačný materiál – penové sklo. (zdroj, http://www.alcomplet.sk/-pevne-sklo)	88
Obrázok 51 Získavanie prírodného kaučuku (zdroj, http://www.quote.cz/slovník/1639-kaucuk)	81
Obrázok 52 Usporiadanie a rozmer makromolekuly prírodného kaučuku (zdroj, http://www.e-chembook.eu/cs/syntetické-makromolekulární-látky)	82
Obrázok 53 Spôsob výroby kompozitov ťahaním (zdroj, http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm)	90
Obrázok 54 Rozdelenie kompozitov na báze polymérov (zdroj, http://www.sjf.tuke.sk/inmf/multimedialna_vyucba/PM/Prednasky/Kompozity_s_pm.doc)	91
Obrázok 55 Možnosti vytvárania kompozitov spevnených vláknami (zdroj, http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm)	94
Obrázok 56 Obrázok xy Trojrozmerný vláknový kompozit. (zdroj, http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm)	94
Obrázok 57 Obrázok xy Cu-W kompozitný materiál pripravený infiltráciou - lomová plocha. (zdroj, http://www.umms.sav.sk/index.php?ID=370)	95
Obrázok 58 Proces fotosyntézy v prírode (zdroj http://www.sme.sk/c/3037055/aka-bude-klima-o-sto-rokov.html)	99
Obrázok 59 Typy uložení ciev na priečnom reze (Požgaj, Chovanec a kol., 1997): 1, 2, 3 – kruhovito pórovité dreviny s rôznym usporiadaním letných ciev, 4 – prechodne - pórovité dreviny, 5 – roztrúseno- pórovité dreviny	102
Obrázok 60 Javor cukrodarný <i>Acer saccharum</i> – spiace očka	105
Obrázok 61 Topoľová korenica (zdroj, http://www.fihadyha.cz/dyha/fotogalerie-druhdyh.aspx)	105
Obrázok 62 Priestorové znázornenie anatomické stavby ihličnatého dreva : 1 - jarné drevo, 2 - letné drevo, 3 - letokruh, 4 - jarné tracheida s dvojbodkami, 5 - letné tracheida, 6 - živcový kanálik, 7 - dreňový lúč, 8 - priečna tracheida (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/) ...	106
Obrázok 63 Jarné a letné tracheidy v rezoch dreva (zdroj: https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/EOPORY/DROCH-Drevo_a_jeho_ochrana/droch_cv_03-Mi-J.pdf)	107
Obrázok 64 Smrekové drevo priečny rez zväčšené 40×. J – jarné drevo, L - letné drevo, ŽK – živcový kanálik (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/) ...	107
Obrázok 65	107

Obrázok 66	Priestorové znázornenie anatomickej stavby listnatého dreva (Požgaj, Chovanec a kol., 1997): 1 - letokruh, 2 - jarná cieva, 3 - letná cieva, 4 - libriformné vlákno, 5 - dreňový lúč, 6 - pozdĺžny parenchým (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/	108
Obrázok 67	Chemický vzorec celulózy (zdroj http://fld.czu.cz/vyzkum/nauka_o_lp/chemie/chemie.html	109
Obrázok 68	Submikroskopická štruktúra bunkovej steny (zdroj, http://www.n-i-s.cz/cz/mikroskopicka-stavba-jehlicnatych-drevin/page/321/)	110
Obrázok 69	Meranie mechanických vlastností drevnej hmoty – skúška pevnosti na ohyb (zdroj http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin)	112
Obrázok 70	Digitálny vlhkometer GHH 91 KK (zdroj, http://www.portalpardubice.cz/ing-michal-koropec-ky-vlhkomery-dreva-ab-brookhuis/).....	114

Obsah

1	TECHNICKÉ MATERIÁLY.....	9
1.1	Rozdelenie technických materiálov	9
1.2	Kovové materiály - základné pojmy.....	10
1.3	Väzby v tuhých látkach	11
1.3.1	Iónová väzba.....	13
1.3.2	Kovalentná väzba	13
1.3.3	Van der Waalsová väzba	14
1.3.4	Kovová väzba –kovová mriežka.....	15
1.4	Základné rozdelenie kovov	18
1.4.1	Fyzikálne vlastnosti kovov	18
1.4.2	Chemické vlastnosti kovov	19
1.5	Surové železo	20
1.5.1	Výroba surového železa	20
1.5.2	Vysoká pec.....	22
1.5.3	Chemické pochody vo vysokej peci.....	23
1.5.4	Výroba ocele.....	24
1.5.5	Tepelné spracovanie ocele	26
1.5.6	Tepelná úprava ocele	30
1.6	Neželezné kovy	34
1.6.1	Hliník - alumínium	34
1.6.2	Výroba primárneho hliníka.....	36
1.7	Meď – cuprum	38
1.8	Zlato	40
1.8.1	Výroba zlata.....	42
1.8.2	Využitie zlata	42
1.9	Mechanické vlastnosti materiálov a ich skúšanie	43
1.9.1	Statické skúšky	43
1.9.2	Statická skúška tlakom	47
1.9.3	Statická skúška ohybom	47
1.9.4	Skúška rázom v ohybe	47
1.10	Skúšky tvrdosti základné teoretické poznatky	49
1.11	Dynamické skúšky tvrdosti	57
2	NEKOVOVÉ MATERIÁLY.....	59
2.1	Plastické látky – plasty	59

2.1.1	História výroby plastov	59
2.1.2	Zloženie plastov:	60
2.1.3	Rozdelenie plastov	62
2.1.4	Mechanické vlastnosti plastických látok	64
2.1.5	Tepelné vlastnosti	65
2.1.6	Elektrické vlastnosti	65
2.1.7	Chemická odolnosť	65
2.1.8	Vlastnosti a použitie jednotlivých druhov plastických látok	67
2.2	Vlastnosti polymérnych materiálov a ich skúšanie	77
2.2.1	Mechanické vlastnosti polymérov	78
2.3	Sklo	83
2.3.1	História výroby skla	84
2.4	Kaučuky a gumy	81
2.5	Kompozity	89
2.6	Drevo	95
2.6.1	Stromy a drevo	96
2.6.2	Charakteristika dreva	99
2.7	Stavba dreva	100
2.7.1	Makroskopické znaky dreva	100
2.7.2	Ostatné makroskopické znaky	104
2.7.3	Mikroskopická stavba dreva	105
2.7.4	Chemická stavba dreva	108
2.7.5	Submikroskopická stavba dreva	110
2.7.6	Vlastnosti dreva	110
2.7.7	Vlhkosť dreva	113
2.7.8	Meranie vlhkosti dreva	114
2.7.9	Rezivo	115
2.7.10	Konštrukčné materiály na báze dreva	116

1 TECHNICKÉ MATERIÁLY

Všetky predmety, ktoré nemajú prírodný pôvod, ale sú produktom nejakej výrobnjej činnosti, sú zhotovené z určitého materiálu. Aby tieto predmety plnili svoju funkciu v ich praktickom využití, musí mať materiál, z ktorého sú zhotovené, požadované vlastnosti. Vlastnosti sa prejavujú už v priebehu výroby predmetu, to znamená, materiál sa dá spracovávať až do konečného stavu. Potom materiál musí zodpovedať podmienkam exploatacie predmetu, čo je najdôležitejšia požiadavka z hľadiska plnenia jej funkčnosti.

Je veľmi dôležité poznať úžitkové vlastnosti vhodných technických materiálov pre konkrétne aplikácie a to všetko so zohľadnením ekonomických, ekologických a ďalších súvisiacich faktorov a predpisov (prístup k databázam materiálov, patentová ochrana, licencie). Problematike správneho výberu technických materiálov - t.j. z hľadiska vhodnosti materiálu ako takého, jeho vhodnosti pre technológiu zhotovenia finálneho výrobku, prevádzkovú funkčnosť materiálu výrobku z hľadiska jeho odolnosti voči pôsobiacim zaťaženiám a vplyvom okolitého prostredia (opotrebením, porušovaním únavou, koróznym poškodzovaním) - musí byť venovaná pozornosť v priebehu vzdelávania žiakov a študentov v rámci technicky orientovaných predmetoch.

Vývoj moderných technických materiálov je jednou z najdynamickejších oblastí vedeckého bádania. Nanotechnologický výskum v najbližšom čase umožní výrobu nových druhov materiálov, ktorých vlastnosti budú natoľko výnimočné, že významnou mierou posunú hranice ľudských možností v mnohých oblastiach prírodných a technických vied.

1.1 Rozdelenie technických materiálov

Technické materiály sú všetky materiály, ktoré môžeme využiť v technike a to bez ohľadu na skupenstvo, napr. plynné, kvapalné, tuhé. Ak vytvoríme z technických materiálov skupinu materiálov, ktorá má pevnostné parametre a vyhovujúcu tvrdosť, húževnatosť, potom dostaneme skupinu **konštrukčných materiálov**.

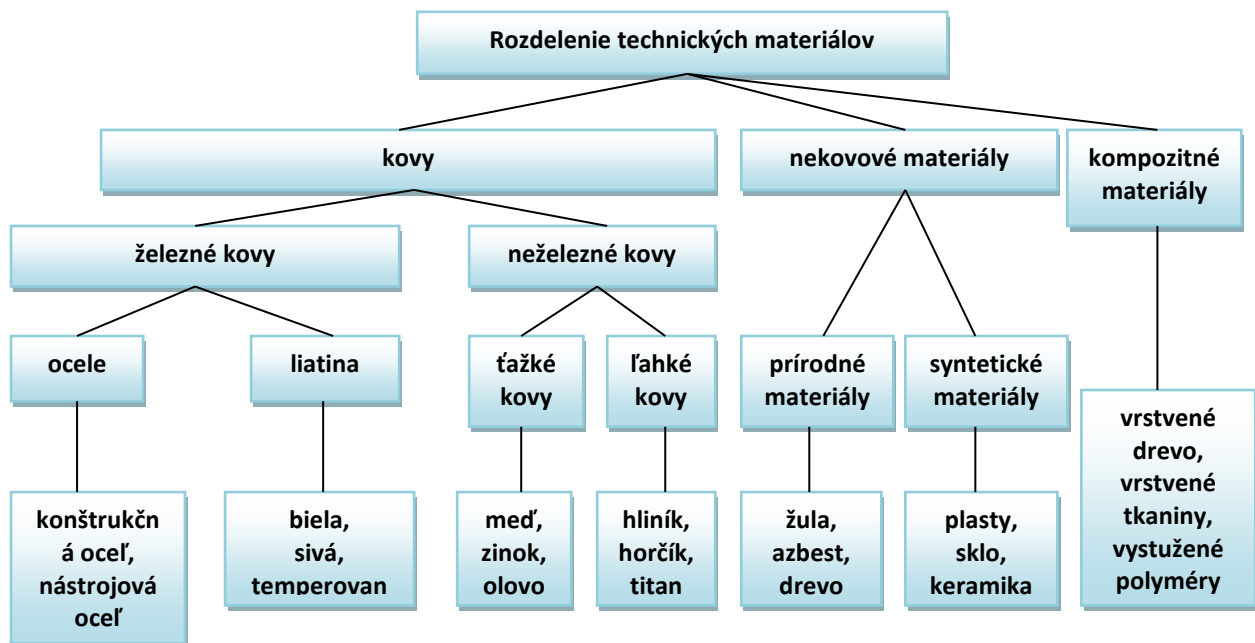
Teda môžeme hovoriť, že konštrukčné materiály sú už konkrétne materiály, z ktorých sa vyrábajú výrobky všetkého druhu potrebné pre spoločnosť. Ich základné rozdelenie je znázornené v obrázku 1.

Jedno z vhodných a opodstatnených kritérií, je **rozdelenie technických materiálov podľa vnútornej stavby** a z nej vyplývajúcich charakteristických vlastností do štyroch skupín :

1, kovové materiály - do tejto skupiny patria kovy a ich zliatiny, ako napr. železo, ocele a liatiny, hliník, meď, horčík, titan, nikel a iné. Čisté kovy sa v technickej praxi používajú zriedkavo, častejšie sa z dôvodu lepších výsledných vlastností používajú ich zliatiny.

2, keramické materiály - do tejto skupiny patria napr. technické sklo, izolátory, piezokeramické materiály a iné.

3, polymérne materiály - do tejto skupiny patrí guma, plasty a veľké množstvo lepidiel. Vyrábajú sa vytvorením vysokomolekulových štruktúr z organických molekúl, získaných z ropy alebo prírodných uhľovodíkov.



Obrázok 1 Rozdelenie technických materiálov

4, kompozitné materiály - sú tvorené fyzikálnym spojením dvoch alebo viacerých materiálov, pričom ich výsledné vlastnosti nemožno získať u bežných materiálov. Typickými príkladmi sú železobetón, preglejka, lepenka, vodivá guma, sklolamináty a iné.

1.2 Kovové materiály - základné pojmy

Kovy sú dosiaľ najdôležitejšie konštrukčné materiály. Ich výrobou sa zaoberá metalurgia a chémia.

Metalurgia je odvetvie, v ktorom sa spracúvajú získané kovové materiály na polotovary ďalších priemyselných rezortov. Sú to vlastne chemické procesy, ktoré oddeľujú zo suroviny (rúd) buď relatívne čisté kovy, alebo už zliatiny.

Metalografia je náuka o vnútornej štruktúre kovových materiálov a je experimentálnou metódou náuky o materiáloch s využitím všetkých dostupných metód. Praktická metalografia študuje makroštruktúry, mikroštruktúry kovov (svetelná mikroskopia) a subštruktúry (transmisná elektrónová mikroskopia). Do tejto oblasti patrí aj skúšanie kovov, čím sa zisťujú vlastnosti kovov.

Aby bolo spracovanie kovov hospodárne, zariadenia, v ktorých sa získava kov sú umiestnené zvyčajne spolu so zariadením pre ďalšie spracovanie na polotovary, čiže zlievarne a valcovne, čím sa vytvárajú komplexy spracovávajúce rudu na kov a produkujúce plechy, tyče, profily a iné polotovary - hutnícke fabriky. Medziproduktom pre tvárnenie sú ingoty, bochníky, bramy, ktoré slúžia ako polotovary pre spracovanie v zlievarňach a valcovniach.

Charakteristika a umiestnenie kovov v PSP

Kovy tvoria viac ako tri štvrtiny zo všetkých prvkov. Patria k najvýznamnejším látkam, ktoré človek nielen dnes, ale aj v dávnej minulosti využíval na výrobu rôznych predmetov. V periodickej tabuľke sú označené ružovou farbou a nachádzajú v s – bloku – teda v 1. skupine (okrem vodíka) v 2.skupine, tvoria celý d a f blok a v p –bloku naľavo od uhlopriečky, ktorú tvoria polokovy (B, Si, As, Te, At). Vyznačujú sa typickými fyzikálnymi vlastnosťami. Majú vysoký kovový lesk, obvykle sú kujné a ťažné, sú dobrými vodičmi tepla a elektrického prúdu.

1.3 Väzby v tuhých látkach

Tuhé látky sa skladajú z atómov alebo iónov umiestnených tesne vedľa seba. Táto ich blízkosť je zdrojom rôznych charakteristických vlastností tuhých látok. Vzájomná súdržnosť dvoch atómov sa nazýva väzba a na základe jej povahy ju kategorizujeme na niekoľko rôznych typov.

1

1

H

1.008

2

2

He

4.003

3

3

Li

6.941

4

4

Be

9.012

5

5

B

10.81

6

6

C

12.01

7

7

N

14.01

8

8

O

16.00

9

9

F

19.00

10

10

Ne

20.18

11

11

Na

22.99

12

12

Mg

24.31

13

13

Al

26.98

14

14

Si

28.09

15

15

P

30.97

16

16

S

32.07

17

17

Cl

35.45

18

18

Ar

39.95

19

19

K

39.10

20

20

Ca

40.08

21

21

Sc

44.96

22

22

Ti

47.88

23

23

V

50.94

24

24

Cr

52.00

25

25

Mn

54.94

26

26

Fe

55.85

27

27

Co

58.93

28

28

Ni

58.69

29

29

Cu

63.55

30

30

Zn

65.39

31

31

Ga

69.72

32

32

Ge

72.61

33

33

As

74.92

34

34

Se

78.96

35

35

Br

79.90

36

36

Kr

83.80

37

37

Rb

85.47

38

38

Sr

87.62

39

39

Y

88.91

40

40

Zr

91.22

41

41

Nb

92.91

42

42

Mo

95.94

43

43

Tc

98.91

44

44

Ru

101.1

45

45

Rh

102.9

46

46

Pd

106.4

47

47

Ag

107.9

48

48

Cd

112.4

49

49

In

114.8

50

50

Sn

118.7

51

51

Sb

121.8

52

52

Te

127.6

53

53

I

126.9

54

54

Xe

131.3

55

55

Cs

132.9

56

56

Ba

137.3

57

57

La

138.9

58

58

Ce

140.1

59

59

Pr

140.9

60

60

Nd

144.2

61

61

Pm

145.9

62

62

Sm

150.4

63

63

Eu

152.0

64

64

Gd

157.3

65

65

Tb

158.9

66

66

Dy

162.5

67

67

Ho

164.9

68

68

Er

167.3

69

69

Tm

168.9

70

70

Yb

173.0

87

87

Fr

223.0

88

88

Ra

226.0

89

89

Ac

227.0

90

90

Th

232.0

91

91

Pa

231.0

92

92

U

238.0

93

93

Np

237.0

94

94

Pu

244.1

95

95

Am

243.1

96

96

Cm

247.1

97

97

Bk

247.1

98

98

Cf

251.1

99

99

Es

252.0

100

100

Fm

257.1

101

101

Md

258.1

102

102

No

259.1

1

1

H

1.008

2

2

He

4.003

3

3

Li

6.941

4

4

Be

9.012

5

5

B

10.81

6

6

C

12.01

7

7

N

14.01

8

8

O

16.00

9

9

F

19.00

10

10

Ne

20.18

11

11

Na

22.99

12

12

Mg

24.31

13

13

Al

26.98

14

14

Si

28.09

15

15

P

30.97

16

16

S

32.07

17

17

Cl

35.45

18

18

Ar

39.95

19

19

K

39.10

20

20

Ca

40.08

21

21

Sc

44.96

22

22

Ti

47.88

23

23

V

50.94

24

24

Cr

52.00

25

25

Mn

54.94

26

26

Fe

55.85

27

27

Co

58.93

28

28

Ni

58.69

29

29

Cu

63.55

30

30

Zn

65.39

31

31

Ga

69.72

32

32

Ge

72.61

33

33

As

74.92

34

34

Se

78.96

35

35

Br

79.90

36

36

Kr

83.80

37

37

Rb

85.47

38

38

Sr

87.62

39

39

Y

88.91

40

40

Zr

91.22

41

41

Nb

92.91

42

42

Mo

95.94

43

43

Tc

98.91

44

44

Ru

101.1

45

45

Rh

102.9

46

46

Pd

106.4

47

47

Ag

107.9

48

48

Cd

112.4

49

49

In

114.8

50

50

Sn

118.7

51

51

Sb

121.8

52

52

Te

127.6

53

53

I

126.9

54

54

Xe

131.3

55

55

Cs

132.9

56

56

Ba

137.3

57

57

La

138.9

58

58

Ce

140.1

59

59

Pr

140.9

60

60

Nd

144.2

61

61

Pm

145.9

62

62

Sm

150.4

63

63

Eu

152.0

64

64

Gd

157.3

65

65

Tb

158.9

66

66

Dy

162.5

67

67

Ho

164.9

68

68

Er

167.3

69

69

Tm

168.9

70

70

Yb

173.0

87

87

Fr

223.0

88

88

Ra

226.0

89

89

Ac

227.0

90

90

Th

232.0

91

91

Pa

231.0

92

92

U

238.0

93

93

Np

237.0

94

94

Pu

244.1

95

95

Am

243.1

96

96

Cm

247.1

97

97

Bk

247.1

98

98

Cf

251.1

99

99

Es

252.0

100

100

Fm

257.1

101

101

Md

258.1

102

102

No

259.1

1

1

H

1.008

2

2

He

4.003

3

3

Li

6.941

4

4

Be

9.012

5

5

B

10.81

6

6

C

12.01

7

7

N

14.01

8

8

O

16.00

9

9

F

19.00

10

10

Ne

20.18

11

11

Na

22.99

12

12

Mg

24.31

13

13

Al

26.98

14

14

Si

28.09

15

15

P

30.97

16

16

S

32.07

17

17

Cl

35.45

18

18

Ar

39.95

19

19

K

39.10

20

20

Ca

40.08

21

21

Sc

44.96

22

22

Ti

47.88

23

23

V

50.94

24

24

Cr

52.00

25

25

Mn

54.94

26

26

Fe

55.85

27

27

Co

58.93

28

28

Ni

58.69

29

29

Cu

63.55

30

30

Zn

65.39

31

31

Ga

69.72

32

32

Ge

72.61

33

33

As

74.92

34

34

Se

78.96

35

35

Br

79.90

36

36

Kr

83.80

37

37

Rb

85.47

38

38

Sr

87.62

39

39

Y

88.91

40

40

Zr

91.22

41

41

Nb

92.91

42

42

Mo

95.94

43

43

Tc

98.91

44

44

Ru

101.1

45

45

Rh

102.9

46

46

Pd

106.4

47

47

Ag

107.9

48

48

Cd

112.4

49

49

In

114.8

50

50

Sn

118.7

51

51

Sb

121.8

52

52

Te

127.6

53

53

I

126.9

54

54

Xe

131.3

55

55

Cs

132.9

56

56

Ba

137.3

57

57

La

138.9

58

58

Ce

140.1

59

59

Pr

140.9

60

60

Nd

144.2

61

61

Pm

145.9

62

62

Sm

150.4

63

63

Eu

152.0

64

64

Gd

157.3

65

65

Tb

158.9

66

66

Dy

162.5

67

67

Ho

164.9

68

68

Er

167.3

69

69

Tm

168.9

70

70

Yb

173.0

87

87

Fr

223.0

88

88

Ra

226.0

89

89

Ac

227.0

90

90

Th

232.0

91

91

Pa

231.0

92

92

U

238.0

93

93

Np

237.0

94

94

Pu

244.1

95

95

Am

243.1

96

96

Cm

247.1

97

97

Bk

247.1

98

98

Cf

251.1

99

99

Es

252.0

100

100

Fm

257.1

101

101

Md

258.1

102

102

No

259.1

1

1

H

1.008

2

2

He

4.003

3

3

Li

6.941

4

4

Be

9.012

5

5

B

10.81

6

6

C

12.01

7

7

N

14.01

8

8

O

16.00

9

9

F

19.00

10

10

Ne

20.18

11

11

Na

22.99

12

12

Mg

24.31

13

13

Al

26.98

14

14

Si

28.09

15

15

P

30.97

16

16

S

32.07

17

17

Cl

35.45

18

18

Ar

39.95

19

19

K

39.10

20

20

Ca

40.08

21

21

Sc

44.96

22

22

Ti

47.88

23

23

V

50.94

24

24

Cr

52.00

25

25

Mn

54.94

26

26

Fe

55.85

27

27

Co

58.93

28

28

Ni

58.69

29

29

Cu

63.55

30

30

Zn

65.39

31

31

Ga

69.72

32

32

Ge

72.61

33

33

As

74.92

34

34

Se

78.96

35

35

Br

79.90

36

36

Kr

83.80

37

37

Rb

85.47

38

38

Sr

87.62

39

39

Y

88.91

40

40

Zr

91.22

41

41

Nb

92.91

42

42

Mo

95.94

43

43

Tc

98.91

Obrázok 2 Periodická sústava prvkov (zdroj <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/1tab.htm>)

Za súdržnosť kovových látok sú zodpovedné **kohézne sily**. Dominantnú úlohu tu zohráva príťažlivá **elektrostatická interakcia medzi záporne nabitými elektrónmi a kladne nabitými jadrami atómov**, ktorá sa riadi zákonmi kvantovej mechaniky. Do úvahy pripadajú aj **magnetické interakcie**, tie sú však v porovnaní s elektrostatickou interakciou veľmi slabé. Ešte **zanedbateľnejšie** sú **gravitačné sily**. Všetky tieto interakcie zahrňame tiež pod všeobecný pojem **chemické väzby**.

Kohézne sily, ktoré sú samotnou podstatou chemických väzieb, sú vyjadrované cez **kohéznu energiu**. Táto kohézna energia vyjadruje **energiu potrebnú na rozdelenie tuhej látky na jednotlivé atómy**. Alebo inak povedané, vyjadruje energiu potrebnú na oddelenie dvoch

atómov, ktoré sú vo väzbe. Miera kohéznej energie je samozrejme závislá na niekoľkých faktoroch:

- druh častíc,
- charakter väzobných síl medzi časticami,
- teplotné, či iné fyzikálne pole.

Význam kohéznej energie spočíva predovšetkým v tom, že určuje termodynamickú stabilitu konkrétneho kryštálu. Od toho sa potom odvíjajú takmer všetky vlastnosti kryštálov, vrátane mechanických. Na určenie kohéznej energie porovnávame celkovú energiu kryštálu, tzn. kinetickú a potenciálnu energiu, s energiou rovnakého počtu voľných atómov, nekonečne od seba vzdialených.

Kryštál sa môže vytvoriť a byť stabilný iba vtedy, ak je jeho celková energia nižšia než celková energia jeho atómov vo voľnom stave.

Tabuľka 1 Kohézne energie niektorých čistých kovov pri tlaku 101 325 Pa (1atm) a teplote 0 K (- 273,15 °C).

Prvok	Kohézna energia (eV/atóm)
Mg	1,51
Al	3,39
Si	4,63
Ca	1,84
Ti	4,85
V	5,31
Cr	4,1
Mn	2,92
Fe	4,28
Co	4,39
Ni	4,44
Cu	3,49
Zn	1,35
Zr	6,25
Nb	7,57
Mo	6,82
Ag	2,95
Pt	5,84
Au	3,81

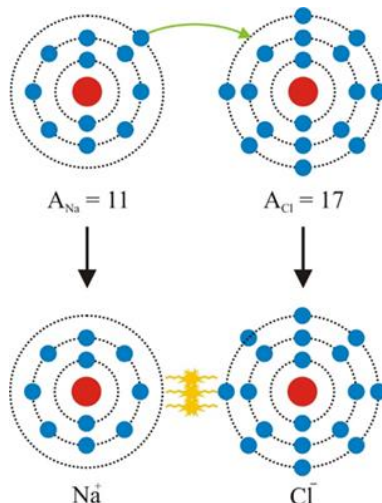
Charakteristické vlastnosti kovov v tuhom skupenstve sú podmienené charakterom ich väzieb v kryštáloch kovov. Všetky väzby sú elektrónového pôvodu, takže obecné môžeme

povedať, že hlavný a podstatný rozdiel medzi nimi spočíva v prerozdelení valenčných elektrónov okolo atómov. Jedná sa o:

- iónovú,
- kovalentnú,
- kovovú,
- Van der Waalovu väzbu.

1.3.1 Iónová väzba

Tento typ väzby vzniká medzi atómami, ktoré nemajú zaplnené valenčné elektrónové vrstvy. Dobrým príkladom je napr. väzba medzi sodíkom a chlór.



Obrázok 3 Model iónovej väzby. Atóm sodíka odovzdá valenčný elektrón atómu chlóru, čím sa z nich stanú kation a anión. (zdroj <http://www.materialing.com/vazby>)

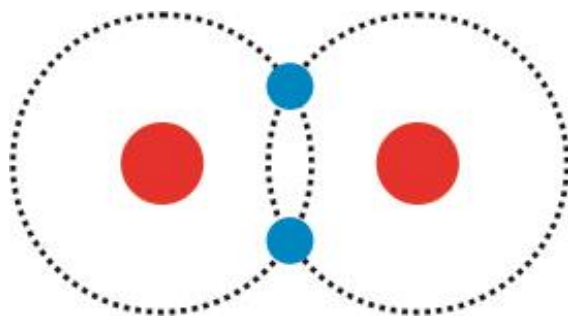
Sodík má vo valenčnej (tretej) vrstve jeden osamotený elektrón a výhodnejšie by preňho bolo zbaviť sa elektrónu, pretože na zaplnenie tretej vrstvy by potreboval získať ďalších sedem elektrónov. To by ale znamenalo veľký energetický výdaj, preto je ľahšie ak sa takého elektrónu sodík zbaví a ostane mu kompletne zaplnená druhá vrstva. Opačný prípad je chlór, ktorý má na valenčnej (tiež tretej) vrstve sedem elektrónov. Jemu je zase jednoduchšie na vytvorenie zaplnenej valenčnej vrstvy jeden elektrón prijať ako sedem odovzdať. Ak sa atómy sodíka a chlóru dostanú dostatočne blízko k sebe, je preto pre obidva atómy najvýhodnejšie, ak sodík odovzdá svoj jeden elektrón chlóru.

Takýto proces má za následok to, že v sodíku bude počet protónov o jeden vyšší ako elektrónov, teda atóm sodíka bude mať vo výslednici kladný náboj (stane sa z neho kation) a atóm chlóru bude mať súčet protónov naopak o jeden nižší, čiže jeho výsledný náboj bude záporný (stane sa z neho anión). Vytvorená elektrická polarizácia spomínaných atómov potom umožní ich priťahovanie Coulombovskými silami (obrázok 3). Z toho dôvodu sa zvykne tejto väzbe hovoriť aj heteropolárna.

1.3.2 Kovalentná väzba

Kovalentná väzba (taktiež nazývaná aj valenčná väzba) sa uskutočňuje medzi neutrálnymi atómami a je zabezpečená **elektrónovým párom**. To znamená, že ak by sme uvažovali dva

atómy vodíka, tak do kovalentnej väzby by prispievali obidva svojim jedným elektrónom (obrázok 4), čím sa vytvorí elektrónový pár. Tieto elektróny sú potom zdieľané oboma atómami vodíka, namiesto toho, aby boli vo výlučnom „vlastníctve“ len jedného z nich, ako je tomu v prípade iónových väzieb. Elektróny tvoriace väzbu majú potom tendenciu k čiastočnej lokalizácii medzi dvoma atómami, ktoré spájajú. Samozrejmosťou je, že elektróny tvoriace elektrónový pár majú antiparalelné spiny. Pretože na kovalentnej väzbe sa môžu podieľať iba valenčné elektróny a zároveň každý elektrón len v jednej väzbe, je počet väzieb, ktorými môže byť daný atóm viazaný k ostatným, rovný počtu jeho valenčných elektrónov.

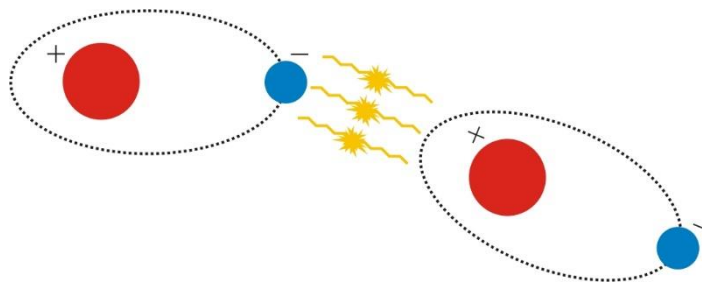


Obrázok 4 Kovalentná väzba medzi dvoma atómami vodíka. (zdroj <http://www.materialing.com/vazby>)

Atómy kovov majú vo valenčnej vrstve málo elektrónov, majú malú ionizačnú energiu a elektronegativitu. Valenčné elektróny sa preto z týchto atómov môžu pomerne ľahko odštepovať. Štruktúru väčšiny kovov vytvára najtesnejšie usporiadanie guľovitých atómov v priestore. Kovové väzby sú teda tvorené medzi atómami, ktoré nemajú dostatočný počet valenčných elektrónov k vytvoreniu kovalentných väzieb pomocou elektrónových párov smerujúcich ku všetkým najbližším susedom. Podľa pôvodných klasických predstáv o kovovej väzbe si kryštál kovu možno predstaviť ako priestorovú mriežku, ktorej uzly sú obsadené kationmi kovu a v medzerách medzi nimi sa neusporiadane a voľne pohybujú valenčné elektróny odštiepené od pôvodných atómov, ako tzv. elektrónový plyn. Kovovú väzbu možno z hľadiska presnejších teórií chápať ako extrémny prípad delokalizovanej väzby, kde väzbové elektróny sú delokalizované medzi všetkými atómami.

1.3.3 Van der Waalsova väzba

Van der Waalsová väzba sa osobitne v kovoch neuplatňuje, súvisí s okamžitými elektrickými momentmi (dipólmi), ktoré vznikajú pri pohybe elektrónov v určitých polohách voči jadru. Dipóly sa pri vhodnom natočení priťahujú. Táto väzba sa uplatňuje pri všetkých materiáloch, je však pomerne slabá. Je častá aj ako medzičasticová väzba, napríklad medzi makromolekulami pri plastoch. Nájdeme ju v kryštáloch jódu, chlóru, kyslíka, vodíka a mnohých organických zlúčenín. Oplatí sa ju však spomenúť, pretože v kovoch alebo polokovoch sa môže uplatniť ako sekundárna väzba k silnejšej iónovej alebo kovalentnej väzbe. Typickým príkladom toho je grafit, v ktorom sa na bazálnych rovinách uplatňuje kovalentná väzba a na prizmatických rovinách van der Waalsova. To je vlastne aj príčinou mäkkosti a ľahkej stierateľnosti grafitu.



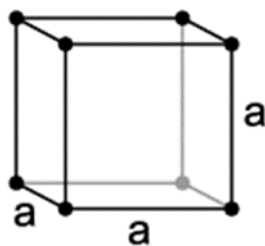
Obrázok 5 Van der Waalsova väzba (zdroj <http://www.materialing.com/vazby>)

1.3.4 Kovová väzba –kovová mriežka

Kovová väzba je medzi atómami v kryštálovej štruktúre kovu. Vzniká prekryvaním orbitalov valenčných elektrónov podobne ako kovalentná väzba. Rozdiel je v tom, že atómy kovu majú menej valenčných elektrónov, ako je ich koordinačné číslo. Podstata kovovej väzby: atómy sú v štruktúre kovu obklopené väčším počtom rovnakých atómov. Pri tomto tesnom usporiadaní dochádza k prekryvu neúplne obsadených valenčných orbitalov a tak sa v dôsledku tohto prekryvu dostávajú elektróny pod spoločný vplyv všetkých okolitých atómov a vytvárajú energetický pás. Atómy, ktorých valenčné elektróny sa dostávajú pod spoločný vplyv, sa menia na katióny. Medzi katiónmi a voľne pohybujúcimi sa elektrónmi pôsobia príťažlivé sily - kovová väzba.

Atómy kovov sú usporiadané do **kryštálovej mriežky - kubickej** (alebo **izometrickej**, v staršom názvosloví aj **kockovej**). Základnou časticou sú atómy – ióny, ktoré vytvárajú pravidelné geometrické útvary. Každý jeden atóm je obklopený veľkým počtom ďalších atómov (8 až 12). Kubicá kryštálová mriežka je jedna zo siedmich kryštálových sústav. Je to sústava s najvyššou symetriou, charakteristická je prítomnosť štyroch trojnásobných osí súmernosti, sledujúcich telesové uhlopriečky.

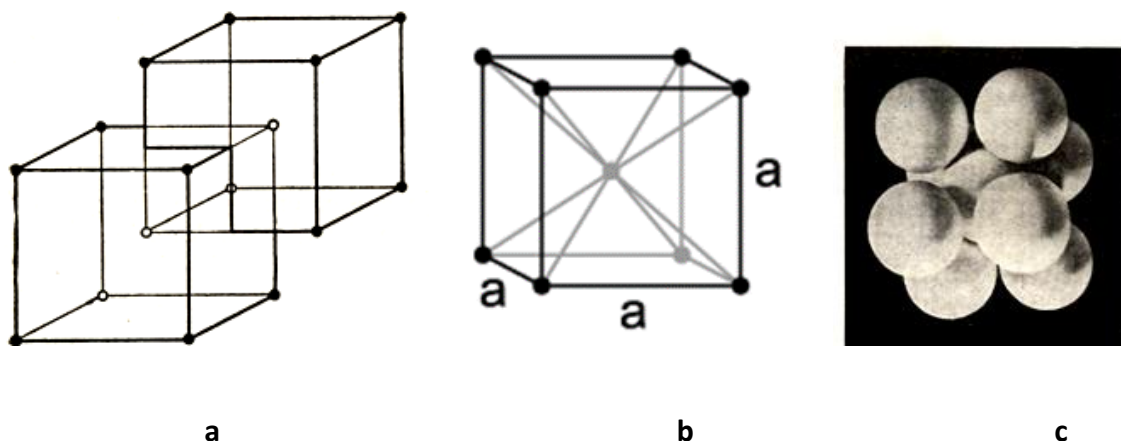
Kubická mriežka najjednoduchšia **primitívna (P)** sa nevyskytuje.



Obrázok 6 Kubická mriežka primitívna (zdroj http://sk.wikipedia.org/wiki/Kubick%C3%A1_s%C3%BAstava)

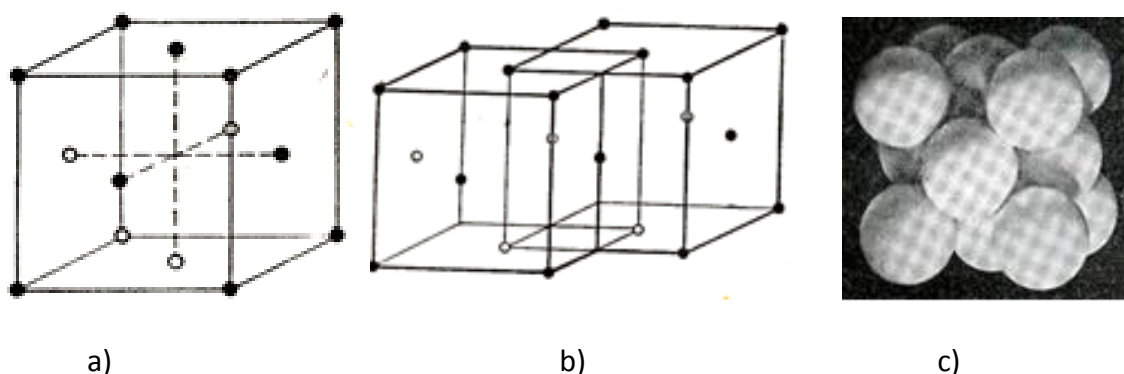
Veľké množstvo kovov kryštalizuje v dvoch druhoch kubickej mriežky, ktoré sú zložené z dvoch primitívnych mriežok a to sú:

Kubická priestorovo centrovaná (I) - predstavujeme si, že vznikla z dvoch jednoduchých kubických mriežok, pričom rohy druhej mriežky ležia v strede prvej.



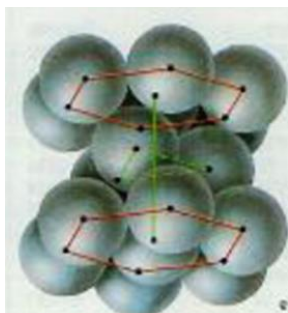
Obrázok 7 Stavba kubickej priestorovo centrovanej mriežky: a) vznik mriežky z dvoch primitívnych kubických mriežok, b) základná bunka, c) guľový model
(zdroj http://sk.wikipedia.org/wiki/Kubick%C3%A1_s%C3%BAstava)

Kubicú plošne centrovanú mriežku si predstavujeme tak (obrázok 8), že vznikla z dvoch primitívnych kubických mriežok, pričom rohy druhej mriežky ležia v strede plôch prvej. V tejto mriežke býva najtesnejšie usporiadanie. **Koordináčné číslo** kubickej plošne centrovanej mriežky je **12**. **Toto číslo znamená, že počet atómov bezprostredne susediacich s každým atómom mriežky** pri rovnakej veľkosti atómov guľovitého tvaru je 12. Kryštály s takouto mriežkou majú obzvlášť dobrú plasticosť a kovy sú dobre tvárniteľné.

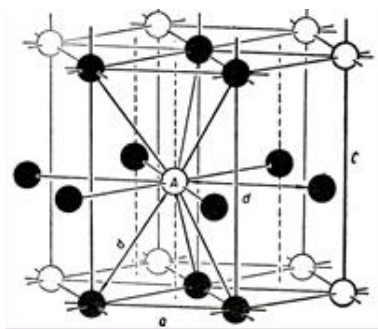


Obrázok 8 Stavba kubickej plošne centrovanej mriežky: a – základná bunka, b – vznik mriežky z dvoch primitívnych kubických mriežok, c – guľový model
(zdroj, http://sk.wikipedia.org/wiki/Kubick%C3%A1_s%C3%BAstava)

Hexagonálna mriežka má tvar šesťbokého hranola (obrázok), v ktorom atómy obsadzujú rohy základní a medzi nimi je ešte jedna vrstva atómov (troch). Koordináčné číslo je **12**. Hoci kovy s kryštálmi hexagonálnej sústavy majú vysoké koordináčné číslo, majú horšiu tvarovateľnosť, ako kovy s mriežkou kubickou, plošne centrovanou.



a)



b)

Obrázok 9 Hexagonálna mriežka s najtesnejším usporiadaním: *a* – guľový model, *b* – znázornenie koordinačného čísla (12 atómov je rovnako vzdialených od atómu A) (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=1038>)

Kryštálové mriežky sú charakterizované :

- **Parametrom mriežky** $a_0(b_0 c_0)$ - vzdialenosť medzi stredmi atómov v mriežke
- **Koordinačným číslom (K, T, H)** - počet atómov rovnakej a pritom najmenšej vzdialenosti od určitého atómu.
- **Elementárnou bunkou** - počet atómov, ktorý pri svojom opakovaní ukladaní v priestore vytvorí daný typ mriežky.

- **Faktorom plnenia :**
$$\frac{(\text{počet atómov v mriežke}) \times (\text{objem atómu})}{\text{objem mriežky}}$$

2 ZÁKLADNÉ ROZDELENIE KOVOV

Asi pred 7000 rokmi sa použil prvý kov – zlato (Au) na výrobu nástrojov a ozdôb. Neskôr striebro (Ag) a meď (Cu). V zemskej kôre sa vyskytuje najviac hliníka Al – 21, železa Fe – 13, horčíka Mg – 5, mangan Mn – 0,2 miliónov ton. Voľné kovy sú zriedkavé, sú to hlavne ušľachtilé kovy, Cu a meteorické železo. Hlavne Al a Mg sú prakticky neobmedzené. Obvykle sú kovy v prírode viazané na kyslík O a síru S. Potom hovoríme o **oxidických (kyslíkatých)** rudách a **sulfidických (sírnikových)**. Záleží od metódy a obsahu kovu v rude, či sa vôbec bude spracovávať a akým spôsobom.

Je viac kritérií k rozdeleniu kovových materiálov. V našich učebných textoch sme zvolili rozdelenie podľa:

Podľa hmotnosti delíme kovy na:

- ťažké (Ag, Au, Pt), s hustotou vyššou ako $4,5 \text{ g/cm}^3$
- ľahké (Mg, Be, Al, Ti). s hustotou menšou ako $4,5 \text{ g/cm}^3$

Podľa bodu tavenia na :

- nízkotaviteľné (Sn - 232°C , Bi, Cd, Pb, Zn, Mg, Al - 658°C , Sb),
- strednotaviteľné (Ag - 961°C , Au, Cu, Mn, Be, Ni, Co, Fe, Pt, Ti, Cr - 1849°C),
- vysokotaviteľné (Mo, Ta, W - 3370°C).

Podľa správania sa v prostredí na:

- ušľachtilé (Ag, Au a skupina platinových kovov),
- neušľachtilé.

Podľa vzhľadu na:

- čierne (Fe a zliatiny),
- farebné (Au, Cu a zliatiny),
- biele kovy (Zn, Sb a Pb a ich zliatiny).

Niekedy sa rozlišujú podľa spôsobu použitia na **ložiskové, plátovacie, prísadové** a pod.

2.1.1 Fyzikálne vlastnosti kovov

Za normálnych podmienok sú všetky kovy okrem ortuti, ktorá je kvapalná, **tuhé látky**. Pre kovy je charakteristický **typický kovový lesk**. Väčšinou sú **sivej farby**, iba zlato a cézium sú žlté a meď červená. Typickými vlastnosťami kovov sú **dobrá vodivosť elektrického prúdu a tepla, kujnosť** (dajú sa vykovať na tenké fólie) a **ťažnosť** (dajú sa vytiahnuť na tenký drôt). Tieto vlastnosti vyplývajú z ich štruktúry.

Vlastnosti kovových materiálov možno rozdeliť podľa fyzikálnej podstaty a vonkajšej povahy do nasledovných skupín:

a) fyzikálne vlastnosti :

- hustota je daná pomerom hmotnosti **m** k objemu **V**

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

- dĺžková a objemová rozťažnosť
- magnetické,
- transportné - tepelná a elektrická vodivosť, supravodivosť, termoelektrický jav a pod.,
- tepelné - tepelná rozťažnosť, merné teplo a pod.,
- radiačné

b) fyzikálno-chemické vlastnosti :

- chemické a elektrochemické - oxidačné, korózne a pod.,
- optické a emisné,
- kontaktné a trecie,
- v disperznom stave (kovové prášky)

2.1.2 Chemické vlastnosti kovov

Od kryštálovej mriežky závisia aj chemické vlastnosti kovov. Kovy, ktoré poskytujú na vznik kovovej väzby viac valenčných elektrónov, sú **tvrdšie** a majú **vyššiu teplotu topenia**. Ak zapojíme kov do obvodu elektrického prúdu, posúvajú sa voľné elektróny v smere potenciálneho spádu, čiže **vedú elektrický prúd**. Energiu pohybu ľahko odovzdávajú časticiam mriežky, čiže **dobré vedú teplo**. Keď sa nárazom o kov posunú niektoré vrstvy napríklad o vzdialenosť niekoľkých atómov, dostanú sa katióny do tej istej polohy ako predtým, lebo ich pútajú voľné elektróny. To je príčinou toho, že sú **kujné a ťažné**. (Napríklad zlato sa dá vykovať na priesvitné lístky hrubé 0,00 009 mm a z 1 g sa dá vytiahnuť drôt dlhý 166 m.) Kovy majú oproti nekovom **nižšiu elektronegativitu**, preto sa v zlúčeninách budú vyskytovať vo forme **katiónov**. Chemické vlastnosti kovov, ich reaktivitu s vodou respektíve s kyselinami možno vyvodiť z elektrochemického radu napätia kovov:

K, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Fe, Co, Ni, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Au, Pt

Kovy naľavo od vodíka sú **neušľachtilé**, napravo **ušľachtilé**. Čím je kov postavený viac naľavo, tým sa ľahšie oxiduje na katióny a čím je viac napravo od vodíka, tým ľahšie sa jeho katióny redukovujú na kov.

c) mechanické vlastnosti :

- základné - pružnosť, pevnosť, plasticosť a húževnatosť,
- odvodené - tvrdosť, odolnosť proti krehkému lomu, odolnosť proti únavovému lomu, odolnosť proti tečeniu a iné,

d) technologické vlastnosti :

- tvárnosť, obrábiteľnosť, zvarateľnosť, zlievateľnosť,
- kaliteľnosť, spekateľnosť a iné.

2.2 Surové železo

Železo je najpoužívanější a najrozšírenejší kov na Zemi. V zemskej kôre sa nachádza takmer vždy v podobe **zlúčenín** s inými prvkami, **zemské jadro** však pozostáva zväčša z **čistého železa**. Výskyt čistého železa je vzácny (niektoré náleziská v Grónsku a Švédsku). Nachádza sa aj v tzv. železných meteoritoch, v podobe zliatin s niklom. Prvé železné predmety vyrábané tavbou pozemských železných rúd pochádzajú z obdobia 3000 až 2000 rokov pr. n. l. z oblasti Egypta, Anatólie (polostrov Malá Ázia, dnešné Turecko), Mezopotámie (územie dnešného Iraku) a údolia rieky Indus (dnešný Pakistan). Železo bolo vhodnejším kovom ako bronz kvôli vyššej tvrdosti a tiež početnejšími náleziskami železných rúd, aj keď kvôli vysokej teplote tavenia rúd (1300 až 1350 °C) bolo jeho získavanie technologicky náročnejšie. Čoskoro však vytlačilo bronz a stalo sa najvýznačnejším a najpoužívanejším kovom, podľa ktorého bola pomenovaná celá etapa vývoja ľudskej spoločnosti - doba železná (na našom území asi 750 pr. n. l. - 0).

2.2.1 Výroba surového železa

Surové železo sa vyrába vo vysokej peci z rúd. Okrem rudy je potrebné palivo, vápenec a vzduch. Spolu všetko dohromady tvorí **vsádzku**, ktorá sa striedavo zavádza do vysokej pece – palivo, ruda, vápenec – v jednotlivých vrstvách.

Ruda – železo je v rudách obsiahnuté v oxidoch, uhličitanoch alebo kremičitanoch. Redukciou týchto rúd uhlíkom, alebo oxidom uhoľnatým – CO, sa uvoľňuje Fe, ktoré sa ale nauhličí. Vzniká **surové železo**.

Druhy rúd:

- magnetovec - magnetit obsahuje 70 % Fe,
- krveľ – hematit 65 % Fe,
- hnedeľ – limonit 50 % Fe, veľa fosforu, je najľahšie redukovateľný,
- ocieľok – siderit 45 % Fe, mnoho Mn, u nás sa nachádza v Spišsko-gemerskom rudohorí,
- chamosit 35 % Fe, veľa fosforu, nučická ruda.

Spracováva sa aj železný odpad – **okovinky** (vznikajú pri tvárnení), **pyritové výpražky** pri výrobe H_2SO_4 , **vysokopecný prach** pri suchom čistení vysokopecného plynu.

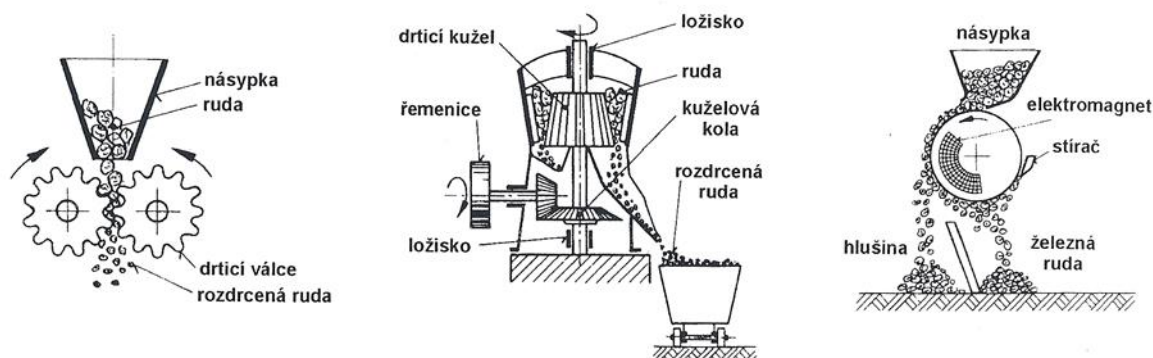
Úprava rudy

Aby bola prevádzka vo vysokej peci hospodárna, ruda sa najprv upravuje. Je viacero spôsobov úpravy rúd. Najbežnejšie si charakterizujeme:

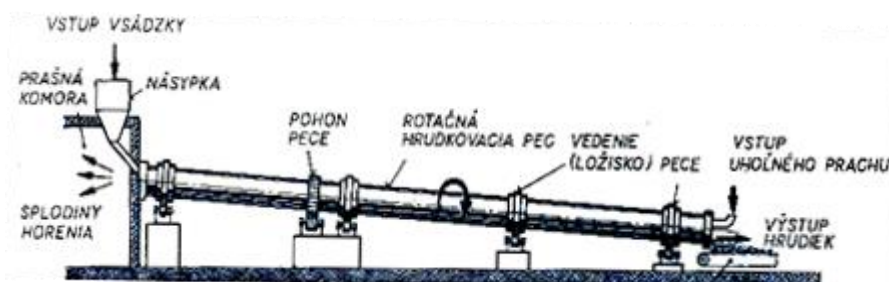
- **drvenie** - ruda sa drví na veľkosť zŕn 25 až 80 mm v drvičoch: valcových, kužeľových, čeľustových,
- **triedenie** - spočíva v odstránení *hľušiny* (hlina a pod.) v magnetických triedičoch;
- **aglomerácia** - drobná a prachová ruda sa speká. Aglomerácia – v peci je pohyblivý rošt, na ňom ruda, koks a okovinky. Predtým sa dáva tiež vápenec (na zníženie teploty tavenia hlíny, kameňov a zabránenia pripečenia rudy na rošt);
- **briketovanie** - lisovaním sa z drobných čiastočiek získajú hrudky potrebnej veľkosti;
- **praženie** - odstráni sa voda a síra;

- **miešanie rúd** - kvalitné rudy sa miešajú s menej kvalitnými – to je *homogenizácia*;
- **hrudkovanie** - je úprava rúd za účelom podstatného zvýšenia obsahu železa. V rotačných peciach 60 – 70 m dlhých rozomletú rudu (chudobnejšiu ako 30 % Fe) s jemne rozomletým uhlím a vápencom premiešavame. Spaľovaním uhlia sa vytvorí teplo, uvoľňuje sa hubovité hrudkové železo, obalené troskou. Spečenece vypadávajú na spodku sklonenej pece, potom sa drvia v guľových mlynoch, triedia sa od trosky a zavážajú sa do vysokej pece (2 až 5 mm veľké, 90 % Fe).

Zariadenia na úpravu rudy sú na nasledovných obrázkoch.



Obrázok 10 Úprava železnej rudy na drviacich valcoch, drviacom kuželi a triedenie na elektromagnetických triedičoch (zdroj, JAKÚBEK, P., 2012)



Obrázok 11 Zariadenie na hrudkovanie železnej rudy – hrudkovacia rotačná pec (zdroj, JAKÚBEK, P., 2012)

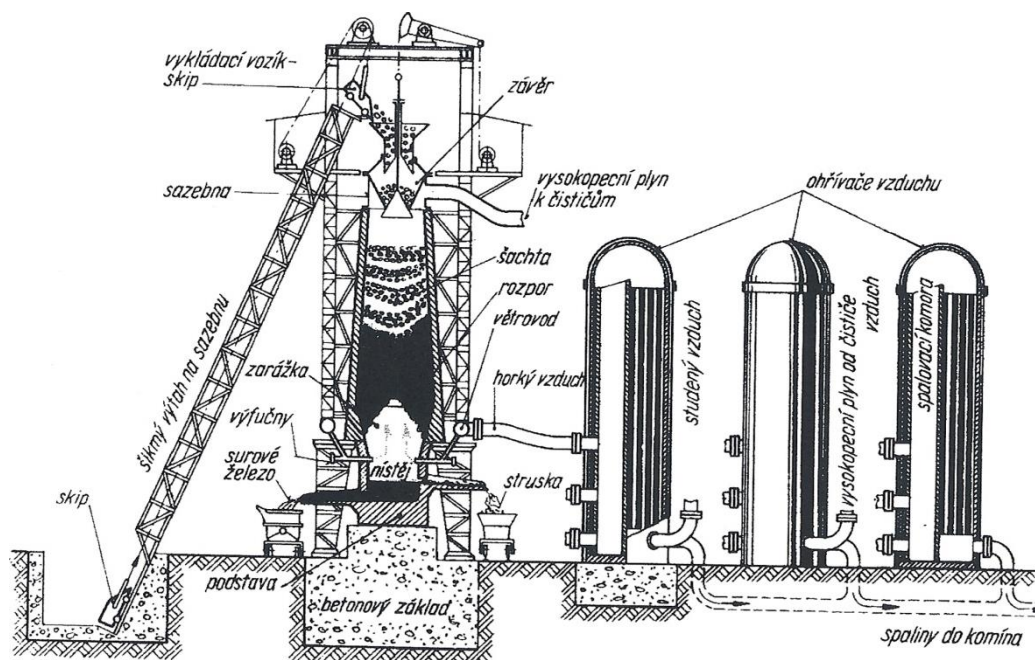
Palivo musí byť tuhé, nespekavé, 25 až 40 mm veľké – vysokopecný koks. Aj v prípade, že elektrická energia je zdroj tepla, napr. v oblúkových peciach, musí sa tam pridávať koks, alebo drevené uhlie (z dôvodu redukcie kyslíka v rude).

Troskotvorné prísady - druh záleží od rúd. Pre kyslé rudy sú zásadité troskotvorné prísady a to vápenec – uhličitán vápenatý (CaCO_3), pre zásadité rudy sa dáva tavivo kyslé – kremičitý piesok, škridla a i. Majú za úlohu znižovať teplotu tavenia hlušiny. Chránia surové železo, aby malo žiadané chemické zloženie, nebolo nadmerne nasycované uhlíkom a aby zabráňovalo oxidácii surového železa vzduchom vháňaným do vysokej pece. Troska obaľuje totiž kvapky, v ktorých steká surové železo do nisteje. Tam sa od železa oddeľuje a vzhľadom k nižšej hustote vypláva na povrch. Prebytočná troska vyteká z pece zvláštnym otvorom.

Vzduch dodáva kyslík pre horenie. Pre výrobu 1t surového železa sa potrebuje 4000 m³ vzduchu. Spotreba za 24 hod. je do 7 000 ton vzduchu. Pretlak 80 – 200 kPa zabezpečujú piestové dúchadla poháňané motormi na vysokopecný plyn, alebo parné turbokompresory.

Je to *viator*. Predhrieva sa v Cowperových predhrievačoch na 900 °C (sú najmenej tri, pričom dva sú vyhrievané, jeden sa využíva).

Vysokopecný plyn je cenné palivo. Okrem dusíka a oxidu uhličitého obsahuje aj výhrevný oxid uhoľnatý a vodík. Po odstránení vodnej pary a prachu sa čiastočne využije predovšetkým pri výrobe surového železa na predhrievanie vzduchu a ako palivo pre spaľovacie motory poháňajúce piestovú dúchadlá alebo na vykurovanie parných kotlov pre turbíny poháňajúce odstredivé dúchadlá. Zvyšok plynu slúži na výrobu elektrickej energie a ako vykurovací plyn v pridružených oceliarniach, koksovniach, valcovniach a vyhniach.



Obrázok 12 Vysoká pec s príslušnými technologickými zariadeniami
(zdroj, JAKÚBEK, P., 2012)

2.2.2 Vysoká pec

Vysoká pec je mohutná stavba na výrobu surového železa (*obr.*). Má tieto časti:

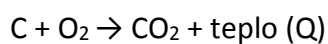
- **vsádkovňa** – horná časť pece, kadiaľ sa pec plní. Tam je i kychťový záver;
- **šachta** – je horný zrezaný kužeľ, so základňou v dolnej časti. Zvonku je obalená plechom, chladená vodou, zvnútra vyložená výmurovkou, nesú ju osobitné oceľové stĺpy, takže je oddelená od spodnej časti, aby sa dali obe časti nezávisle opravovať;
- **rozpor** – je najširšia časť pece. Tam sa stýka šachta so spodným kužeľom;
- **zarážka** – je tiež zrezaný kužeľ, ale so základňou v hornej časti. Má za úlohu brzdiť posúvanie vsádzky v súlade s odháraním;
- **nistej** – je spodná valcová časť pece, do ktorej prechádza zarážka. Na dne nisteje je odpichový otvor na vypúšťanie surového železa. Na náprotivnej strane oproti odpichu asi 80 cm vyššie je odpichový otvor na vypúšťanie tekutej trosky. Nad týmto otvorom blízko horného okraja nisteje ústi do pece 8 až 12 fuční, alebo foriem, ktorými sa privádza z vetrovodu (potrubia v tvare prstenca okolo nisteje zvonku) vzduch;
- **kychťový záver** – zabezpečuje, aby sa vysokopecný plyn (tiež kychťový plyn) nedostal do ovzdušia ani pri vsádzkovaní. Preto je dvojité, každý osobitne ovládaný.

Najprv sa naplní horná časť z vykladacieho vozíka pri uzavretom hornom závere, medzitým sa už naplnená spodná časť sa vypustí spodným záverom do pece. Po uzavretí spodného záveru sa otvorí horný záver a vsádzka sa presunie do spodnej časti. Horný záver sa uzavrie. Až potom sa otvorí spodný záver a vsádzka sa sype do pece. Čiže vždy je jeden zo záverov uzavretý. Z priestoru medzi nimi sa odvádzajú plyny k čističom a ďalej do predhrievačov, alebo na inú spotrebu;

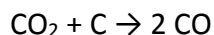
- **Cowperove predhrievače** – nie sú priamo súčasťou vysokej pece, ale neoddeliteľne patria k nej ako výbava. Sú zvyčajne tri. Slúžia na predhrievanie vzduchu, ktorý je potrebný pre horenie paliva v peci. Sú to valcovité stavby, vnútorná výmurovka je oplechovaná. Priestor predhrievačov sa delí zvislou rovinou na dve časti: jedna časť je vyplnená výmurovkou s kanálikmi, aby sa do výmurovky mohlo naakumulovať teplo, druhá je bez výplne a slúži ako spaľovacia komora. Vzduch sa dúchadlami privádza do všetkých, do dvoch z nich do spaľovacej komory, kde sa privádza i vysokopecný plyn a spolu horia. Spaliny prechádzajú cez kanáliky výmurovky a ju ohrievajú. Do tretieho predhrievača sa privádza vzduch do už predhriatej výmurovky s kanálikmi. Odtiaľ prúdi horúci vzduch do vysokej pece. Po každej tretine času celého cyklu sa funkcia predhrievania presunie do ďalšieho predhrievača.

2.2.3 Chemické pochody vo vysokej peci

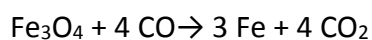
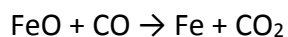
- 1) Hlavný proces **je redukcia oxidom uhoľnatým** (CO), alebo uhlíkom (C) pri vysokých teplotách. Kyslík zo vzduchu spaľuje koks, vytvára sa CO₂.



- 2) Vzniknutý oxid uhličitý stúpa do horných častí pece, dostáva do styku s koksom a priberá C z rozžeraveného koksu a rozkladá sa na

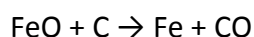
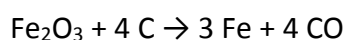
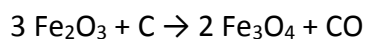


- 3) V najhornejšej časti pece sa zavážka suší a predhrieva na 200 -500 °C.
- 4) **Nepriama redukcia** - pri klesaní zavážky pri teplote 900° C odoberá CO rúde kyslík. Uvoľňuje sa hubovité železo.
- 5) Pri ďalšom klesaní zavážky sa táto ohrieva a pri teplotách 1100 °C sa nasycuje hubovité železo uhlíkom a začne sa taviť. Zároveň priberá i S, P, Si, Mn a iné prvky. To je už surové železo, ktoré sa obaľuje tekutou troskou a steká a odkvapkáva do nisteje



táto fáza prebieha v hornej časti pece, kde prebieha redukcia z oxidu železitého na oxid železnatý, pričom vzniká železo. Prebiehajú pri teplote 400 – 1000 °C.

- 6) **Priama redukcia**, ktorá prebieha pri teplote vyššej ako 1000 °C - ide vlastne o redukciu uhlíka



Železo obohatené uhlíkom má nižšiu teplotu topenia než čistý kov, taví sa a padá na dno pece v podobe kvapiek, ktoré sú obalené troskou. Surové železo, ktorého teplota je 1400 – 1500 °C sa zhromažďuje v spodnej časti pece (nistej) a odpichuje sa po 2 - 3 hodinách. Je určené pre ďalšie spracovanie na liatinu, alebo oceľ. Podľa veľkosti pece je výkonnosť priemerne 600 t/24 hod. Najväčšie pece s obsahom 1300 až 2300 m³ vyrobia 1500 a viac ton surového železa za 24 hod (závisí od bohatosti rudy). Vypúšťa sa v intervale 3 až 6 hod. na lejacie pole, z čoho sú bochníky (sivé) alebo do kovových foriem, z čoho sú dosky (biele) alebo do paniev a v nich sa ako tavenina dopravuje do oceliarne. Surové železo je zliatina železa s uhlíkom a obsahuje aj Mn, Si, S a P, je nevhodné na technické využitie, preto sa musí ďalej upravovať do formy liatiny a ocele.

Spotreba vsádzky vo vysokej peci: na výrobu 1t surového železa sa spotrebuje:

2 až 2,4 t rudy,
1 až 1,4 t koksu,
0,7 až 0,8 t troskotvorných prísad a
4000 m³ vzduchu.

Ďalšie produkty vysokej pece

- **Vysokopecný plyn** – obsahuje:
 - horľavé plyny - 30 % CO, 2 % H₂,
 - nehorľavé plyny - 60 % N₂, 8 % CO₂; výhrevnosť 900 až 1100 kcal/m³.

Z 1 tony koksu sa vytvorí asi 5000 m³ kychtového plynu. Vysokopecný plyn sa používa na ohrev Cowperových predhrievačov, na vykurovanie, pohon plynových motorov a pod. Pred využitím sa musí čistiť od prachu a vodnej pary – v suchých, elektrostatických, alebo mokrých čističoch.

- **Vysokopecná troska** – vytvára sa z hlušín, z popola, troskotvorných prísad. Spracúva sa na cement, troskovú vlnu, dlažobné kocky, štrk, piesok a pod.

Vylepšenia vsádzky - namiesto vápenca sa dáva vypálené vápno, vietor sa obohacuje kyslíkom, zvyšuje sa tlak pod vsádzkovňou, čím sa spomalí prúdenie v peci a plyny sú dlhšie v styku so záťažkou, rudy sa obohacujú účinnejšími úpravami.

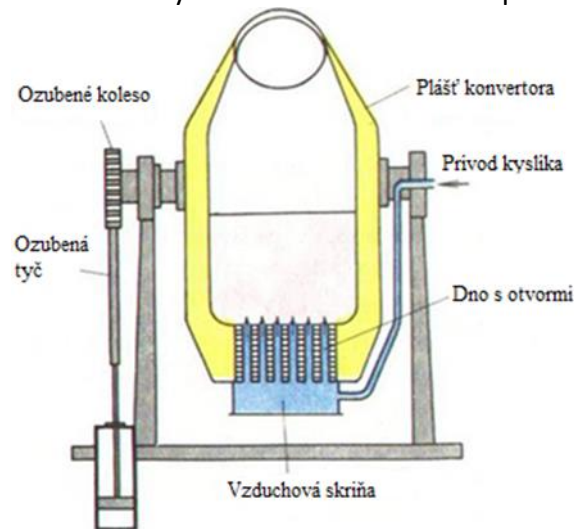
2.2.4 Výroba ocele

Ocele sa vyrábajú zo surového železa a z oceľového odpadu. Čím je vyšší podiel kvalitne vytriedeného oceľového odpadu, tým je proces výroby ocele ekonomickejší. Surové železo obsahuje približne 2 – 4,5 % uhlíka, 0,5 – 2 % kremíka, 1 % mangánu, 0,1 % fosforu a 0,05 % síry. Cieľom oceliarskeho procesu je redukovať obsah týchto prvkov na predpísané hodnoty a získať tým požadované mechanické a technologické vlastnosti výsledného výrobku.

Výroba ocelí roztavením surového železa a ďalšími procesmi sa vykonáva v metalurgických zariadeniach niekoľkých typov. Najstarším z nich sú:

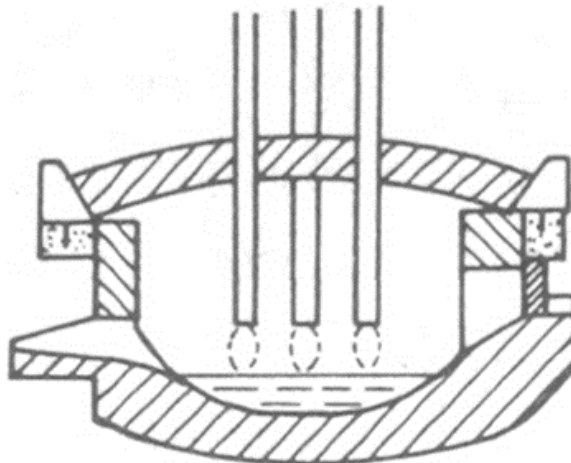
- **Pudlovacie pece** (1784) boli vykurované čiernym uhlím, použité prvýkrát Henrym Corte v roku 1784. Surové železo sa roztavilo v plamenej peci s plytkou nistejou a za stáleho miešania taveniny nežiaduce prvky zoxidovali a prechádzali do trosky bohatej na zlúčeniny železa, zatiaľ čo oceľ chladla vo forme hubovitého železa.

- **Konvertor Thomasov a Bessemerov** (1878), do ktorých ako vsádzka slúži tekuté surové železo a oxidácia je zaistená fúkaním vzduchu otvormi v dne. Ich nevýhodou bola obmedzená možnosť spracovania recyklovaného železného odpadu – šrotu (obrázok 11).



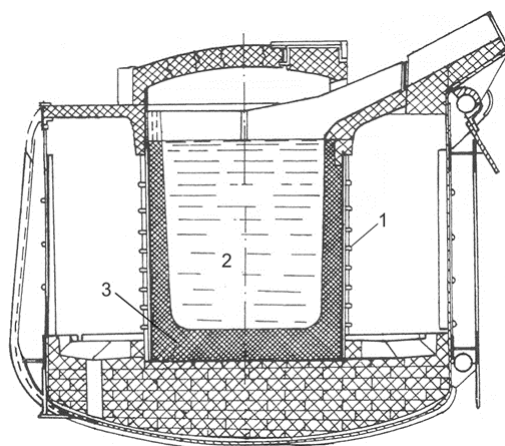
Obrázok 13 Bessemerov a Thomasov konvertor k úprave surového železa (zdroj, http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html#oceli)

- **Siemens-Martinské pece** (1856), kde využitie odpadového tepla na predhrievanie vykurovacieho plynu a vzduchu umožnilo dosiahnuť teplotu nad 1600 °C.
- **Elektrické oblúčkové pece (EOP)** - v otvorenom cykle sa oceľ vyrába z oceľového šrotu, prípadne surového železa a legúr. Elektrický prúd z transformátora prichádza do dvoch, najčastejšie troch zvislých elektród prechádzajúcich klenbou pece.



Obrázok 14 Schéma elektrickej oblúčkovej pece s priamym ohrevom, kde elektródy sú uložené zvisle a oblúk sa vytvára medzi každou elektródou a vsádzkou (zdroj, http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html)

- **Elektrické indukčné pece** – v ktorých sa kov tavil zahrievaním elektromagnetickou indukciou (obrázok 15)



Obrázok 15 Elektrická indukčná pec s vertikálne usporiadanými taviacim žliabkami, 1 – medený induktor s privedeným striedavým prúdom, 2 – kov, 3 – taviaca nádoba (http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html#oceli)

- Modernejšie metódou výroby ocelí sú **kyslíkové konvertory** LD (Linz-Donawitz), do ktorých je miesto vzduchu vháňaný kyslík tryskami zvrchu cez trosku.

V **uzavretom cykle** sa v hutníckom podniku vyrába surové železo zo vsádzkových materiálov oxidačno – redukčnými procesmi vo vysokej peci. Po odpichu sa surové železo preváža pojazdnými miešačmi na úsek oceliareň, kde sa v **kyslíkovom konvertore** (obrázok 16), fúkaním technicky čistého kyslíka vyrobí surová oceľ.

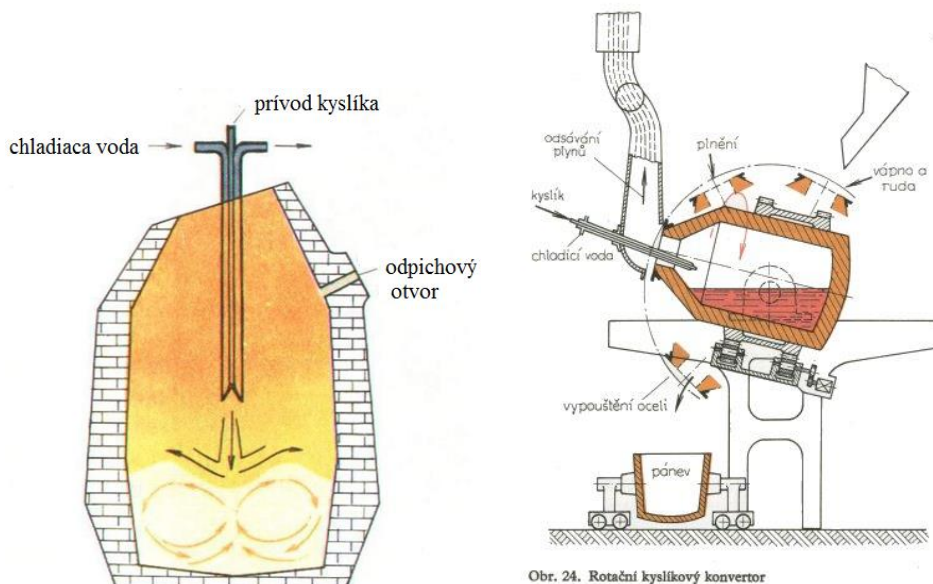
Ako prvý sa do konvertorov vsádza oceľový odpad, ktorý tvorí 20 - 30 % celkovej kovonosnej vsádzky. Najprv sa nasype ľahký oceľový odpad, potom stredný a nakoniec ťažký oceľový odpad. Ďalej nasleduje naliatie surového železa (70 - 80 % z celkového množstva kovonosnej vsádzky) o požadovanom chemickom zložení a teplote. Kyslíkový konvertor sa vráti do zvislej polohy a zhora sa spustí kyslíková tryska. Fúkaním technicky čistého kyslíka (99,9 %) sa začína skujňovací proces. Do druhej minúty skujňovania sa do konvertora nasypú troskotvorné prísady. Samotné fúkanie trvá 15 - 20 minút. Pred koncom skujňovacieho procesu sa odoberie vzorka taveniny a podrobí sa chemickej analýze. Zisťuje sa aktivita kyslíka, chemické zloženie ocele a teplota. Ak nie sú dosiahnuté požadované hodnoty, nasleduje dofuk a opätovná analýza. Ak analýza spĺňa požadované kritéria, kyslíková tryska sa vráti do východzej polohy. Kyslíkový konvertor sa naklopí a prevedie sa beztroskovým odpich. Surová oceľ v panve postupuje na ďalšie spracovanie - sekundárnu metalurgiu. Troska sa vyleje cez otvor hrdla konvertora do troskovej panvy a ďalej sa spracúva na troskovom hospodárstve.

Vyrobená surová oceľ sa ďalej spracováva na tzv. sekundárnej metalurgii. Sekundárnou metalurgiou v hutníctve sa rozumejú všetky procesy, ktoré prebiehajú mimo základných výrobných zariadení, čiže mimo vysokej pece, kyslíkového konvertora a pod. Patrí sem mimopecné odsírenie surového železa a úprava vlastností ocele. V špeciálnych prípadoch sa používajú aj pece, pri ktorých je zdroj tepla tvorený **elektrónovým lúčom**.

2.2.5 Tepelné spracovanie ocele

Čisté železo je **polymorfný kov** (schopný tvoriť viac druhov kryštalických mriežok), ktorý kryštalizuje v kubickej sústave. Pre technické použitie sú najdôležitejšie zliatiny železa. Zo zliatin železa je najdôležitejšia zliatina s uhlíkom. Ako spoznáme v ďalšom texte o výrobe

železa z rudy, táto zliatina sa vytvorí v samotnom výrobnom procese. Aby výrobcovia a spracovatelia mohli získať žiadané vlastnosti technického železa (to sú všetky zliatiny železa), je potrebné poznať **stavový rovnovážny diagram** tejto najdôležitejšej zliatiny a to **Fe – C**.



Obrázok 16 Schéma kyslíkového konvertora (zdroj <http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/02ocel.php>)

Pomocou neho sa určuje teplota začiatku a konca tuhnutia, teplota prekryštalizácie ocele, štruktúra ocele a liatin.

Pretože v praxi sa uplatňuje zliatina s najväčším obsahom uhlíka 6,67 %, kedy zliatina vytvorí chemickú zlúčeninu **Fe₃C**, **karbid železa – cementit**, diagram je sprava ohraničený týmto obsahom a je to teda diagram Fe – Fe₃C. Na ľavej strane je čisté železo. Význačné body na zvislici sa získali sledovaním zmien **pri ohreve a chladení čistého železa**. Krivky ohrevu a chladenia čistého železa sú na obrázku 17.

Diagram sa zostavil tak, ako ostatné stavové diagramy (obrázok 18).

V určitých podmienkach sa karbid železa rozpadá na železo a uhlík, preto v zliatine Fe – C sú možné dve sústavy:

1. **metastabilná sústava:** Fe – Fe₃C, ktorá má v celom rozsahu technický význam,
2. **stabilná sústava:** Fe – C (vyznačená na obrázku 18 čiarkovane). Má význam pre liatiny.

Železo kryštalizuje v sústave kubickej, ale v závislosti na teplote sa mriežka mení, to znamená vytvára 2 alotropické modifikácie:

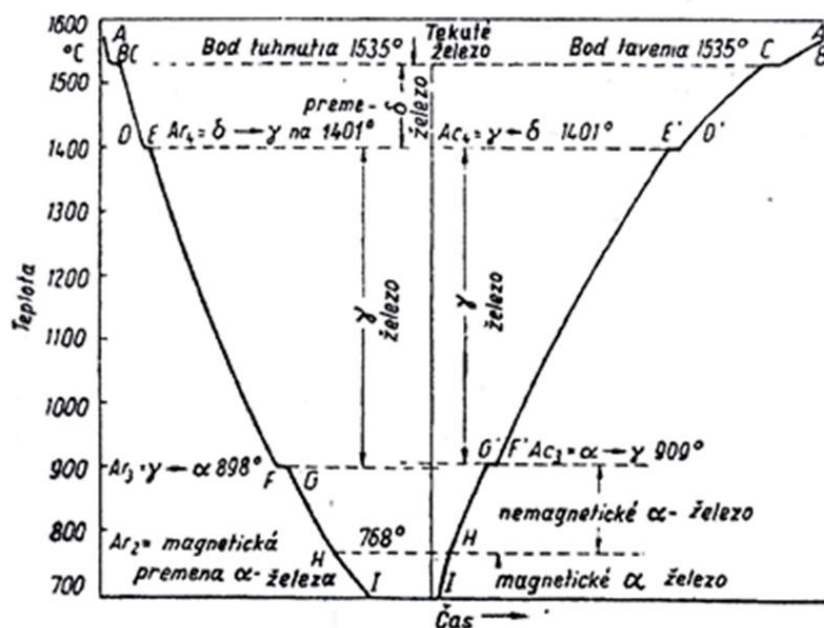
1. **Fe α** – má kubickú priestorovo centrovanú mriežku – 9 atómovú;
2. **Fe γ** – má plošne centrovanú mriežku – 14 atómovú.

Význačné teploty pri ohreve:

- 768 °C – zmena magnetizmu železa α , pri ohreve nad teplotou stráca magnetizmus, pri chladení pod teplotou získava;
- 909 °C – zmena mriežky α – 9 atómovej na γ – 14 atómovú pri ohreve;
- 1401°C – zmena 14 atómovej mriežky na 9 atómovú, ale pri vysokej teplote, je to železo δ ;
- 1535°C – tavenie železa.

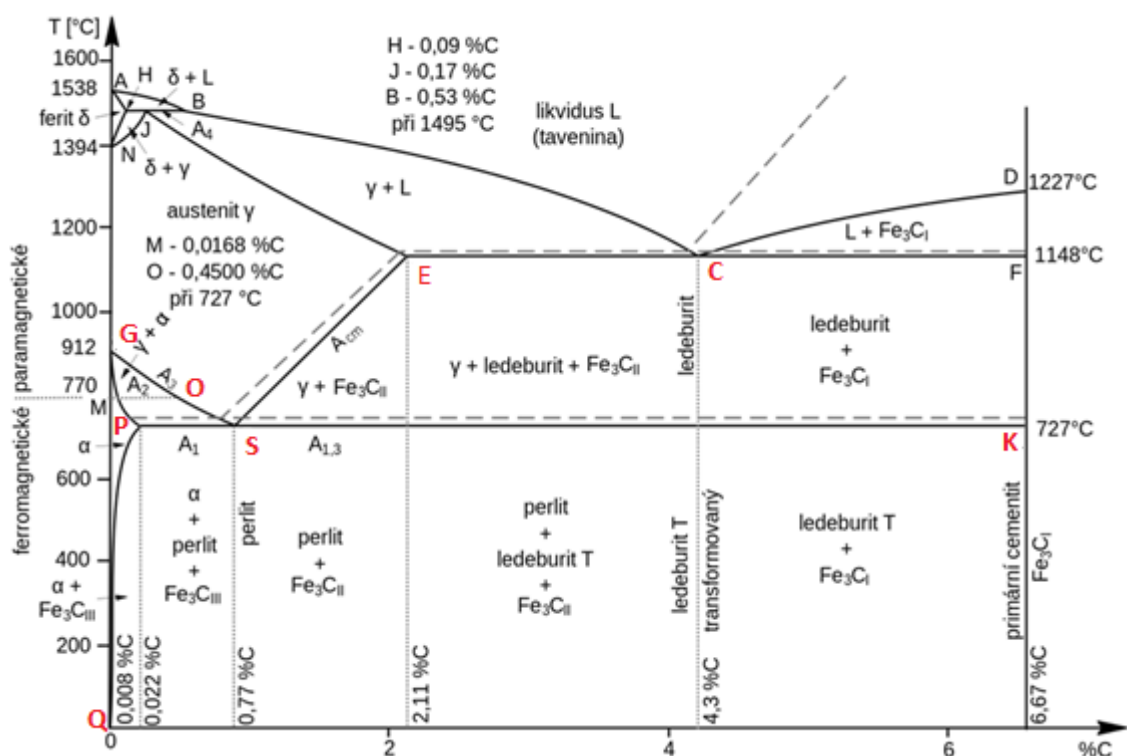
Význačné teploty pri ochladzovaní:

- všetky teploty sú rovnaké ako pri ohreve, až na teplotu 909 °C;
- 898 °C – pri chladnutí zmena γ na α , je pri nižšej teplote ako pri ohreve. Tento jav sa nazýva **teplotná hysterézia**.



Obrázok 17 Krivky ochladzovania a ohrevu čistého železa. (zdroj, JAKÚBEK, P., 2012)

Na spôsob tuhnutia zliatiny železa a uhlíka (stabilne alebo metastabilne) majú vplyv aj ostatné prvky obsiahnuté v zliatine a rýchlosť chladnutia. Pri prevažujúcom vplyve Mn nad vplyvom Si a rýchlym chladnutím tuhne zliatina s vyšším obsahom uhlíka podľa metastabilnej sústavy (Fe_3C) a naopak – ak prevláda Si a je pomalé chladnutie, tuhne zliatina podľa stabilnej sústavy (C).



Obrázok 18 Rovnovážny diagram metastabilnej sústavy železo – uhlík Fe-Fe₃C (bez peritektickej zmeny), diagram stabilnej sústavy je vyznačený čiarkovanou čiarou (zdroj „Fe-C-cs“ od Fe-C.svg: Zielu20derivative work: Alu (talk) – Fe-C.svg. Licencováno pod CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fe-C-cs.svg#/media/File:Fe-C-cs.svg>)

Diagram rozdeľujú body:

- bod E – 1,7 % C na oblasť ocelí a oblasť liatin,
- bod S – 0,83 % C na podeutektoidné a nadeutektoidné ocele,
- bod C – 4,3 % C na oblasť podeutektických a nadeutektických liatin do 6,67 % C.

Jednotlivé plochy diagramu sú popísané štruktúrami:

- ferit** – tuhý roztok uhlíka v α železe - Fe_α, max. rozpustnosť do 0,03 % C pri T=723 °C, pri normálnej teplote sa udáva rozpustnosť 0,006 až 0,01 % C;
- austenit** – tuhý roztok uhlíka v γ železe - Fe_γ, max. rozpustnosť 1,7 % C pri T=1130 °C v stabilnej sústave, 2,14 % C v metastabilnej sústave;
- cementit** – chemická zlúčenina Fe₃C, cementit, karbid železa, s obsahom 6,68 % C;
- perlit** – eutektoid, heterogénna zmes feritu a cementitu, obsah 0,83 % C;
- ledeburit** – eutektikum, heterogénna zmes feritu a cementitu pri podeutektoidných teplotách, cementitu a austenitu pri nadeutektoidných teplotách, obsah 4,3 % C.

Význačné teploty určené čiarami:

PSK teplota A_{c1} – začiatok zmeny mriežky α na γ pri ohreve, A_{r1} koniec zmeny mriežky γ na α pri chladení;

GOS (minor) teplota A_{c3} – koniec zmeny mriežky α na γ pri ohreve, A_{r3} začiatok zmeny mriežky γ na α pri chladení;

SE (major) teplota A_{cm} – čiara ohraničujúca rozpustnosť uhlíka v železe γ v závislosti na teplote. Pri chladení sa v nadeutektoidnej oceli vylučuje z austenitu **cementit sekundárny**;

PQ – čiara ohraničujúca rozpustnosť uhlíka vo ferite. Pod eutektoidnou teplotou sa pri ochladzovaní z feritu vylučuje **cementit terciárny**.

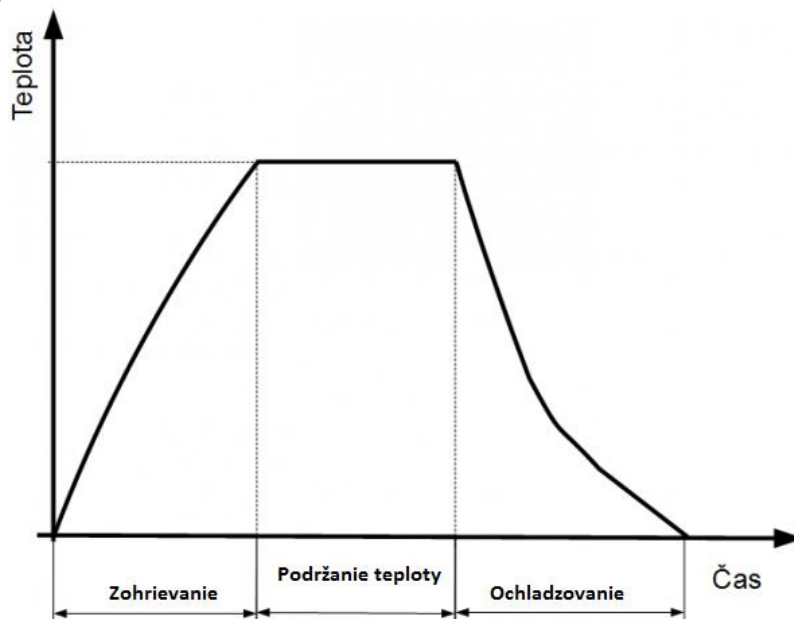
Poznámka: Viaceré teploty i chemické zloženia udané v diagrame sa môžu líšiť od údajov v iných literatúrach. Rozdiely sú však také malé, že nemajú vplyv na praktické uplatnenie diagramov.

2.2.6 Tepelná úprava ocele

Tepelné spracovanie materiálov je technologický proces, ktorým sa pôsobením teploty, prostredia, spôsobov ohrevu a ochladzovania, prípadne aj plastickej deformácie dosahuje požadovaná zmena fázového a štruktúrneho zloženia, s cieľom získania predpokladaných vlastností. Hovoríme o zušľachťovaní ocele. U ocelí rozlišujeme tepelné spracovanie:

- chemicko-tepelné spracovanie,
- tepelno–mechanické spracovanie.

Oceľ má jednu zásadnú vlastnosť. Jej vlastnosti (mechanické a štruktúrne) sa dajú podstatne meniť tepelným spracovaním. Priebeh tepelného spracovania je u všetkých spôsoboch a u všetkých kovových materiáloch v podstate rovnaký. Skladá sa z ohrevu na vhodnú teplotu, zotrvanie na tejto teplote (prehriatie) a následné ochladenie, pričom sa tento postup môže aj viackrát opakovať. Na obrázku je znázornená jednoduchá schéma priebehu takejto tepelnej úpravy.



Obrázok 19 Schéma priebehu tepelnej úpravy ocele (zdroj, <http://ebook.veda-hrou.cz/cms/14-kapitola-4-tepelne-zpracovani-oceli.html>)

V závislosti na teplote ohrevu pri ochladzovaní po tepelnom spracovaní môžeme dosiahnuť **rovnovážnu** alebo **nerovnovážnu štruktúru**. Pokiaľ je rýchlosť ochladzovania nižšia než kritická, dosahujeme u ocelí **rovnovážnu štruktúru**. Druh dosiahnutej štruktúry v podstate zodpovedá konkrétnemu obsahu uhlíka podľa diagramu železo-uhlík v predchádzajúcej časti (samozrejme v závislosti na obsahu ďalších legujúcich prvkov). U bežných uhlíkových ocelí je rovnovážna štruktúra **feriticko-perlitická**.

Nerovnovážnu štruktúru u ocelí dosiahneme vtedy, keď sa výrobok ochladzuje z teploty, pri ktorej je materiál úplne austenitizovaný t.j. ohriaty tak, aby sa štruktúra transformovala na austenit, vyššou rýchlosťou. Konkrétna rýchlosť ochladzovania, ktorá vyvolá v oceli nerovnovážnu štruktúru, je závislá na viacerých faktoroch, z ktorých je najdôležitejšia chemická stavba – t.j. obsahu legujúcich prvkov (uhlík, chróm, nikel, mangán atď.). Dôsledkom vyššej rýchlosti ochladzovania dochádza k spomaleniu až potlačeniu niektorých procesov premeny – predovšetkým difúzie, t.j. cestovanie atómov v materiáli.

Nerovnovážne štruktúry - rozpad austenitu

Oceľový výrobok v peci je ohriaty na austenitizačnú teplotu, t.j. v celom objeme výrobku je austenitická štruktúra. Výrobok vyberieme z pece a začneme ho rýchlo ochladzovať – ponorením do vody. V materiáli prebiehajú nasledovné deje. Za normálnych podmienok by sa austenit začal transformovať napríklad na perlit. Lenže k tomuto procesu je potrebný čas, aby sa atómy uhlíka mohli v materiáli premiestňovať sem a zase naspäť. Prudkým ochladením sme atómom uhlíka neposkytli čas na premiestňovanie, ale rýchlym ochladením boli "zmrazené" na mieste. Výslednú mikroštruktúru vo výrobku nám popisujú diagramy, ktoré popisujú rozpad austenitu. Jedným z nich je tzv. **ARA** diagram - diagram **Anizotermického Rozpadu Austenitu**.

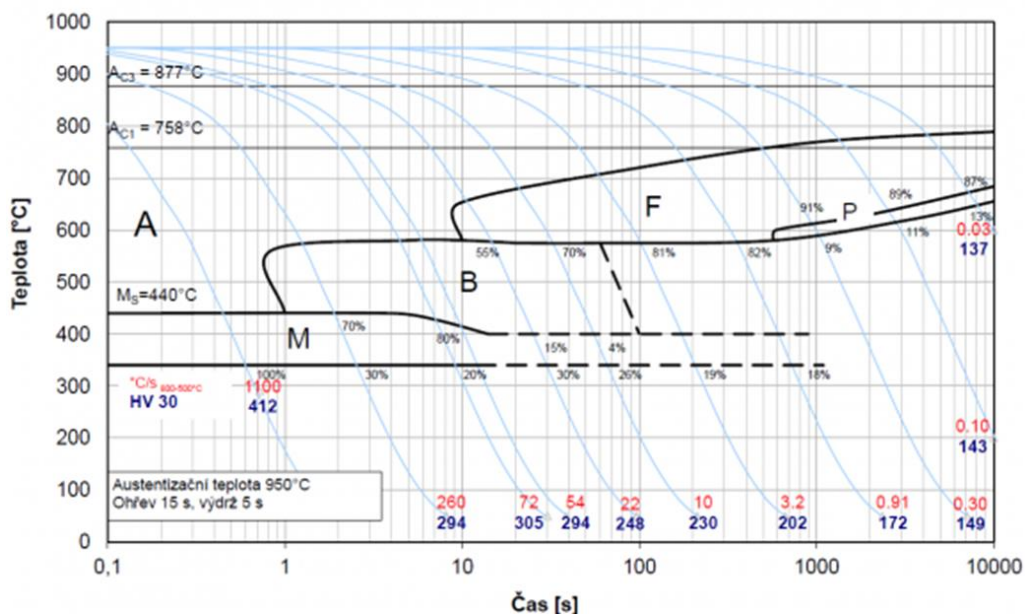
Diagram opisuje (obrázok 20), ako sa chová austenit v oceli, ak je plynule ochladzovaný či už malou, alebo veľkou rýchlosťou. Ak budeme austenit ochladzovať tak rýchlo, že úplne zabránime putovaniu atómov v štruktúre, dostaneme štruktúru, ktorej hovoríme **martenzitická**. Odborne je **martenzit** presýtený tuhý roztok uhlíka v železe α (feritu). Presýtený preto, že je v ňom viac uhlíka, než by bolo možné vo ferite. Z austenitu vzniká tzv. **strihovou premenou**, ktorá je bezdifúzna a v podstate ide len o mierny pohyb atómov kratší, ako je ich medziatómová vzdialenosť. Jeho mriežka je oproti kubickej mriežke austenitu tetragonálna (je to kváder so štvorcovou podstavou). Vznik martenzitu je sprevádzaný deformáciou mriežky a vznikom mriežkových porúch, ktoré spôsobujú značné vnútorné pnutie. Preto je martenzit veľmi tvrdý a preto má aj oceľový výrobok po kalení podstatne väčšiu tvrdosť a pevnosť, než keby jeho štruktúra vznikla rovnovážne a bola feritickoperlitická.



Obrázok 20 Martenzitická mikroštruktúra - pri rýchlosti ochladzovania 300 °C/s, tvrdosť 412 HV 30 (zdroj, <http://ebook.veda-hrou.cz/cms/14-kapitola-4-tepelne-zpracovani-oceli.html>)

Pritom je to stále ten istý materiál s rovnakým chemickým zložením. Jediné, čo sa zmenilo, je jeho štruktúra.

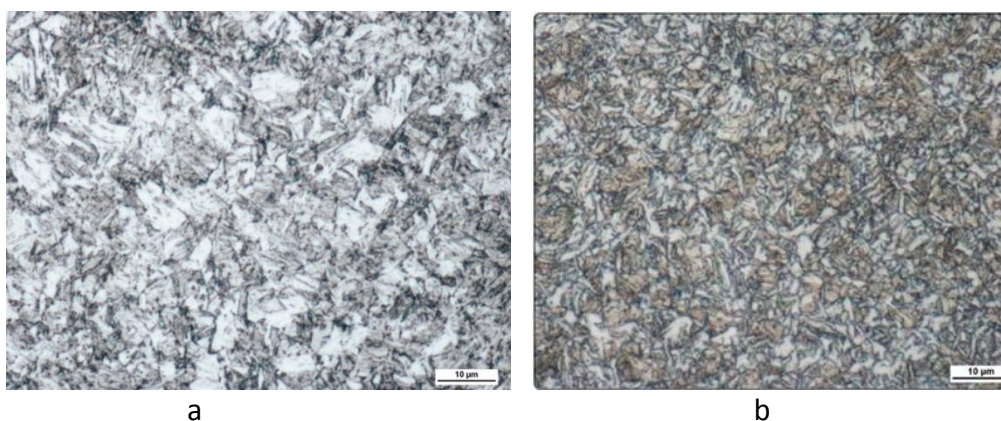
Ak budeme rovnakú oceľ ochladzovať o niečo pomalšie tak, aby sme dovolili atómom aspoň trochu putovať, dostaneme štruktúru **bainitickú**. Bainit je štruktúra ihlicovitého tvaru, je mäkkší ako martenzit, ale tvrdší ako perlit, ktorý vzniká pri pomalšom ochladzovaní. Názorne je to vidieť na konkrétnom ARA diagrame s príkladmi štruktúr. Diagram znázorňuje oblasti s fázami ocele, ktoré sa v závislosti na rôznom ochladzovaní v oceli tvoria .



Obrázok 21 ARA diagram - diagram Anizotermického Rozpadu Austenitu. (zdroj, http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2888)

A - Austenit - je fáza, ktorá tvorí východiskovú štruktúru. Celý výrobok je ohriaty na teplotu 950 °C. Pri tejto teplote je celá štruktúra **austenitická**. Ak budeme výrobok ochladzovať veľmi rýchlo - napríklad ponorením do vody, dostaneme štruktúru **martenzitickú** - **M**, ak pomalšie, **bainitickú** - **B**, a ak ešte pomalšie – napríklad na vzduchu alebo v peci, **feritickú** - **F**, prípadne **perlitickú** **P**. Príklady štruktúr sú uvedené v galérii dole. Ako je zrejmé z obrázkov, mikroštruktúra sa radikálne mení v závislosti na rýchlosti ochladzovania, rovnako tak sa mení

aj tvrdosť a s ňou aj pevnosť. Ak sa zamyslíme nad pevnosťou, tak tyčka o priereze 1 cm^2 by v prípade, že by bola zakalená na martenzitickú štruktúru, dokázala uniesť plne naložený autobus s hmotnosťou 14 ton. Naopak tyčka, ktorá by bola ochladená pomaly a mala by feriticko-perlitickú štruktúru, by dokázala uniesť len jedného menšieho slona (necelé 4 tony). A to sa jedná o stále rovnakú oceľ s identickým chemickým zložením, ale inak tepelne spracovanú. Teda tepelné spracovanie umožňuje u ocelí dosahovať širokého spektra vlastností. Existuje viac ako 2 000 rôznych druhov ocelí s presne definovaným zložením a mechanickými vlastnosťami, ako je pevnosť, tvrdosť, chemická odolnosť a rad ďalších. Fyzikálne vlastnosti ocele závisia aj na tom, ako sa oceľ chladí. Zvoľna chladená oceľ je kujná a húževnatá, rýchlo chladená oceľ je naopak tvrdá a krehká [4]. Oceľ sa recykluje už viac ako 150 rokov a to hlavne z ekonomických dôvodov. Je totiž lacnejšie oceľ recyklovať, ako ťažiť železnú rudu a vynakladať financie na výrobu novej zliatiny. Recykluje sa tiež preto, že oceľ počas procesu recyklácie nestráca žiadnu zo svojich vlastností. Konštrukčná oceľ tak typicky obsahuje asi 95 % recyklovaného materiálu. Oproti tomu ľahší typ ocele, ako je oceľ valcovaná, obsahuje "len" 30 % recyklovaného materiálu.



Obrázok 22 Martenzitická mikroštruktúra - a- po rýchlosti ochladzovania $300\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, tvrdosť 412 HV 30, b – po rýchlosti ochladzovania $70\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, tvrdosť 305 HV 30 (zdroj <http://ebook.veda-hrou.cz/cms/16-kapitola-6-vyrobky-z-oceli.html>)



Obrázok 23 Pod mikroskopom sú viditeľné štruktúry perlitu medzi kryštálmi feritu. Oceľ s obsahom 0,765 % C. (zdroj, http://sk.wikipedia.org/wiki/Perlit_%28metalurgia%29)

Najbežnejšie oceľové produkty určené na recyklovanie sú plechovky, automobily, rôzne zariadenia a oceľ zo zbúraných budov. Existuje viac ako 2 000 rôznych druhov ocelí s presne definovaným zložením a mechanickými vlastnosťami, ako je pevnosť, tvrdosť, chemická odolnosť a rad ďalších. Po dekarbonizovaní a pri vsádzaní legujúcich prvkov (primiešavanie prospešných prvkov k hlavnému kovu, či zliatine kovov za účelom zlepšenia jeho mechanických vlastností) je tavenina odlievaná do ingotov v kokilách alebo kontinuálne odlievaná. Kokila je kovová, opakovane použiteľná nádoba, do ktorej sa v hutách odlieva surové železo, oceľ alebo iný kov či zliatina. Ingot má zvyčajne tvar hranola alebo zrezaného ihlanu, (zrezaného kužeľa) prípadne s komplikovanejším kruhovým, štvorcovým alebo obdĺžnikovým prierezom. Dĺžka ingotu závisí buď na spôsobe jeho výroby alebo na požiadavkách, ktoré sa vzťahujú k následnému oceliarskemu spracovaniu, resp. k následnej hutníckej výrobe. Takto vyrobený polotovár je potom východiskovým materiálom pre ďalšie spracovanie valcovaním alebo kovaním.

2.3 Neželezné kovy

Neželezné kovy je súhrnný názov pre všetky čisté kovy okrem železa. K ich špecifickým vlastnostiam v závislosti od druhu patria vysoká elektrická a tepelná vodivosť, malá merná hmotnosť, vysoká teplota tavenia, či odolnosť proti korózii. Ich zliatiny sa využívajú v celom rade priemyselných odvetví, ako sú energetika, strojárstvo, polovodičová technika, doprava, vesmírna technika, atď.

Všeobecné základné rozdelenie neželezných kovov je podľa ich hustoty (ρ), a to na **ľahké kovy** ($\rho =$ do 5000 kg.m^{-3}) a **ťažké kovy** (nad touto hodnotou). Ľahké kovy a ich zliatiny sa uplatňujú ako konštrukčný materiál pri výrobe leteckej a inej dopravnej techniky a tiež na aplikácie, kde sa požaduje nízka hmotnosť súčiastok. Medzi významné konštrukčné materiály patria zliatiny hliníka, horčíka a titánu. Hliník a jeho zliatiny nahrádzajú sčasti niektoré iné neželezné kovy, ocele a drevo. Horčíkové zliatiny sa čoraz viac začínajú uplatňovať vďaka ich intenzívnemu výskumu. Titán sa začal vo väčšej miere používať až v prvej polovici 20. storočia. Z ľahkých kovov sa ako prísadové prvky používajú hlavne berýlium a najľahší kov vôbec – lítium. Medzi ťažké neželezné kovy patria Cu, Ni, Co.

Medzi neželezné kovy patria aj **ľahko tavitelné kovy** (s teplotou tavenia do 600°C) - Sn, Pb, Zn, In, Sb, Cd, Ga. Väčšina ľahkotavitelných kovov sa používa na pokovovanie alebo na výrobu mäkkých spájkov. Ďalšiu skupinu neželezných kovov tvoria **ťažko tavitelné kovy** s vysokou teplotou tavenia (vyššou, ako má železo) - Ta, Re, Rh, Cr, Nb, V, Zr, W, Mo. Špecifickou skupinou neželezných kovov sú ušľachtilé kovy, ktoré sú charakteristické svojou nízkou afinitou ku kyslíku. Do tejto skupiny zaradíme Au, Ag, Pt, Pd. Ďalej sem patria kovy vzácnych zemín (Sc, Y a lantanoidy) a rádioaktívne kovy (Ra, U, Po, Th, Ac). Táto kapitola sa zaoberá iba základnými vlastnosťami vybraných neželezných kovov, ktoré patria k technicky najvýznamnejším (Al, Cu, Ti).

2.3.1 Hliník - Alumínium

Hliník – **Al** - je tretím najrozšírenejším prvkom v zemskej kôre. Vyrába sa z Al_2O_3 elektrolýzou. Hliník je ľahký kov (hustota $\rho = 2700 \text{ kg.m}^{-3}$) bielej farby, teplota tavenia je $\sim 660^\circ\text{C}$. Vyznačuje sa veľmi dobrou elektrickou vodivosťou (60 % vodivosti Cu), nízkymi mechanickými vlastnosťami a poklesom pevnosti pri zvýšených teplotách. Pevnosť technicky čistého hliníka je možné zvýšiť tvárnením za studena.

Hliník je nepolymorfný kov s kubickou plošne centrovanou mriežkou. Výhodou je dobrá korózná odolnosť na vzduchu, vo vode, v oleji a v mnohých chemikáliách. Na povrchu sa vytvorí vrstvička Al_2O_3 , ktorá má rovnaký molekulový objem ako hliník, pevne prilne na povrchu a dostatočne povrch pasivuje. Oxid Al_2O_3 má vysokú teplotnú stabilitu (nad 2000°C), nerozpúšťa sa v roztavenom kove a z tohto dôvodu sa musí pri zváraní alebo spájkovaní zo spájaného povrchu odstrániť. Hliník odoláva morskej vode, neutrálnym alebo oxidačným roztokom solí a koncentrovanej kyseline dusičnej. Vyznačuje sa nižšou odolnosťou proti silnejším zásadám. Hliník a zliatiny hliníka sa používajú v elektrotechnike, stavebníctve, leteckom a automobilovom priemysle. Námietky sú proti používaniu hliníka na kuchynské riady a v potravinárskom priemysle, pretože je podozrenie, že spôsobuje Alzheimerovu chorobu – strata pamäti spôsobená zmenami nervových vlákien v mozgu. V potravinárskom priemysle bol preto hliník nahradený koróziivzdornými oceľami (príbory, sudy, kuchynské riady a pod.)

Rozdelenie hliníka

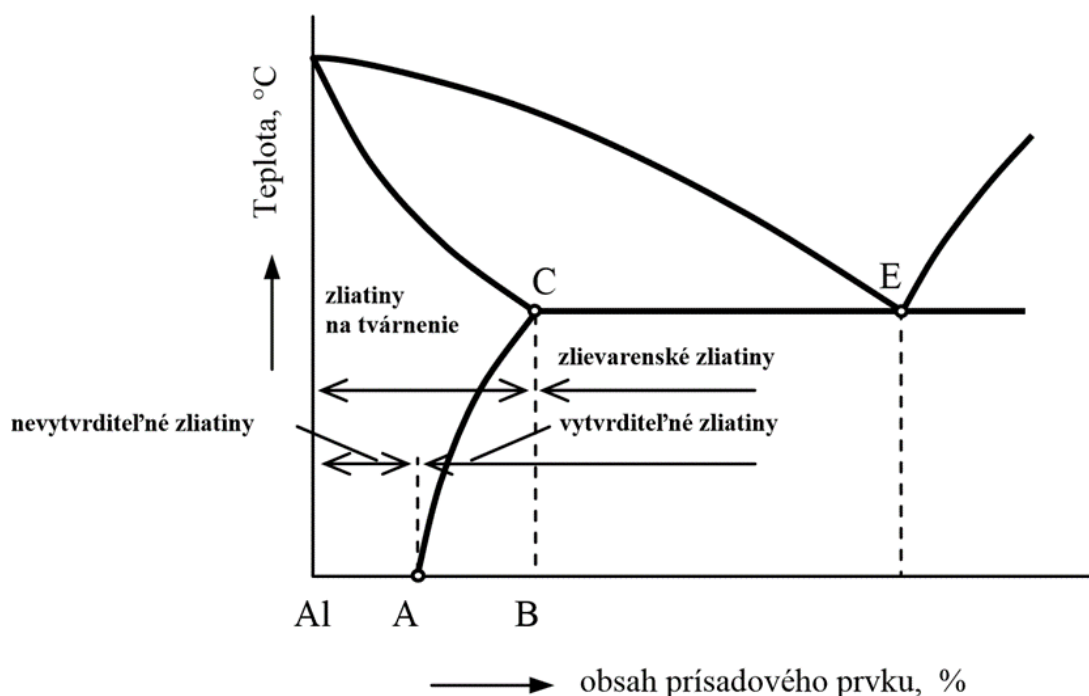
V súčasnosti je v priemysle viac ako sto zliatin hliníka, ktoré je možné roztriediť nasledovne:

1) Z hľadiska možností zvýšenia ich pevnostných vlastností:

- nevytvrdzovateľné,
- vytvrdzovateľné.

2) Z hľadiska technológie spracovania:

- zliatiny určené na tvárnenie,
- zlievarenské zliatiny.

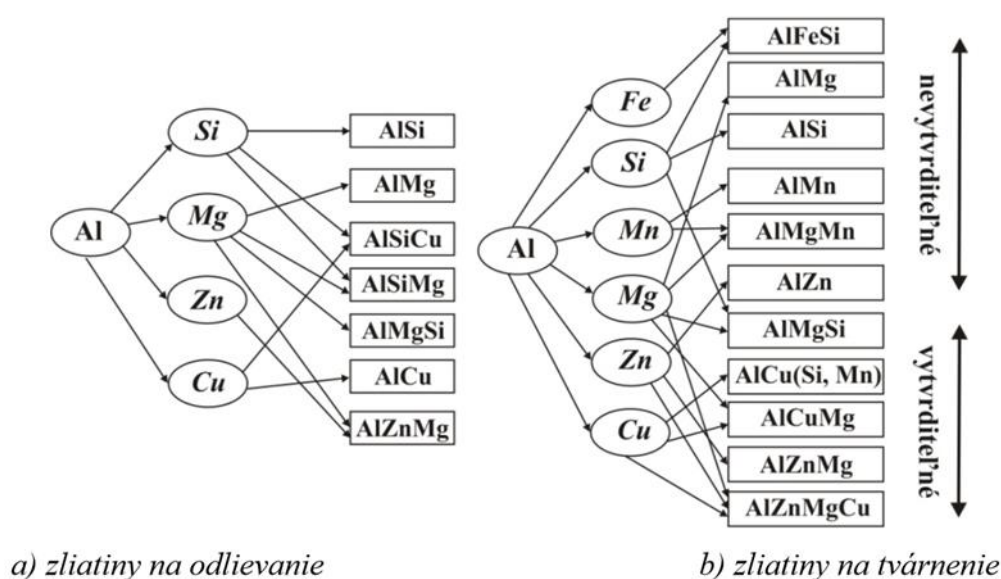


Obrázok 24 Schéma rozdelenia zliatin hliníka (zdroj, <http://praceskovmi.sk/hlinik-tazba-spracovanie-a-jeho-vyuzitie/>)

Schéma rozdelenia zliatin Al je uvedená na obrázku 24.

Zliatiny s nižším obsahom legujúceho prvku (do bodu A) sú vhodné na tvárnenie za tepla aj za studena. V rozmedzí koncentrácie A až B sú zliatiny vhodné na tvárnenie za tepla (po ohreve nad krivku zmeny rozpustnosti), v týchto zliatinách v dôsledku zmeny rozpustnosti v tuhom stave možno zvýšiť mechanické vlastnosti procesom vytvrdzovania. Zlievarenské zliatiny majú vyšší obsah legujúcich prvkov, tuhnú ako heterogénne a vo výslednej mikroštruktúre sa nachádza eutektikum. Najlepšie zlievarenské vlastnosti majú zliatiny s obsahom prísady v okolí eutektickej koncentrácie (bod E).

Medzi najznámejšie zliatiny hliníka patria tzv. **duraly (Al-Cu-Mg)**, ktoré sú vytvrdzovateľné a **silumíny (Al-Si)**, ktoré sú určené na odlievanie.



Obrázok 25 Schematické znázornenie používaných hliníkových zliatin (zdroj http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/Zliatiny-hlin%C3%ADka_teoria.pdf)

2.3.2 Výroba primárneho hliníka

Hliník je možné vyrobiť dvomi spôsobmi - výrobou primárneho hliníka z bauxitovej rudy alebo recykláciou hliníkového šrotu, t.j. výrobou sekundárneho hliníka.

Bauxit a výroba oxidu hlinitého (Al_2O_3)

Základný vstup na výrobu hliníka je čistý oxid hlinitý Al_2O_3 – Bauxit. Je spravidla tvorený zmesou hydratovaných oxidov hliníka (gibsit, diaspor a boehmit). Táto zmes býva „znečistená“ najmä oxidmi železa, kremíka a titanu. Práve oxidy železa dávajú bauxitu typické červeno-hnedé sfarbenie. Kvalita bauxitu sa často posudzuje podľa podielu oxidov kremíka, pretože tie spôsobujú tak straty hliníka, ako aj sodíka vznikom kremičitanu hlinito-sodného.

Na výrobu kovového hliníka je potrebný čo najčistejší oxid. Ten sa získa oddelením hydratovaných oxidov hliníka od ostatných zložiek bauxitu v tzv. **Bayerovom procese**. Hydratované oxidy hliníka, najmä gibsit a boehmit sú dobre rozpustné v horúcom roztoku **hydroxidu sodného**, zatiaľ čo ostatné oxidy sa buď nerozpúšťajú vôbec alebo len veľmi málo. Po **filtrácii** sa získa **hlinitanový roztok** a tuhá fáza (červený kal) – tá po premytí končí na kalovom poli a **spôsobuje ekologické problémy**.

Z hlinitanového roztoku, pri jeho chladnutí, **precipituje** (zráža sa) hydroxid hlinitý vo forme bielej vločkovitej zrazeniny. Tá po dôkladnom premytí postupuje na **kalcináciu**, kde sa pri



Obrázok 26 Obrovské kalové pole v Žiari nad Hronom (zdroj

<http://www.sme.sk/c/5580001/toxicke-jazera-s-kalom-mame-aj-u-nas-ziaru-vraj-katastrofa-nehrozi.html>)

teplote 1050 °C hydroxid hlinitý rozloží na vodu a oxid hlinitý, presnejšie na gama - Al_2O_3 , ktorý sa na rozdiel od alfa - Al_2O_3 dobre rozpúšťa v kryolite. Roztok hydroxidu sodného sa recykluje a v niektorých prípadoch sa v ňom kumulujú stopové prvky, napríklad gálium, ktoré je možné po dostatočnom nakoncentrovaní z roztoku získať.

Výroba hliníka je surovinovo náročný proces. Na výrobu 1 tony hliníka sú potrebné 2 tony oxidu hlinitého, ktorý sa dá získať zo 4 ton bauxitu. Znamená to, že na každú tonu kovového hliníka vznikajú 2 tony odpadu (červeného kalu). Tento údaj zdôrazňuje význam recyklácie hliníka nielen z ekologického hľadiska, ale aj z pohľadu tvorby odpadov.

Elektrolýzny proces

Vo finálnej fáze výroby primárneho hliníka – v elektrolýze, sa hliník vyrába tzv. Hall/Herault procesom, v ktorom sa z Al_2O_3 získa kovový tekutý hliník. Elektrolýza prebieha pri teplote 950 °C vo fluoridovom elektrolyte pomocou elektrického prúdu s vysokou intenzitou. Tento proces prebieha v elektrolýznych peciach, v ktorých uhlíkové katódy tvoria dno pece. Anódy sa nachádzajú na vrchu pece a sú počas procesu postupne spotrebovávané, keď reagujú s kyslíkom z Al_2O_3 . Tekutý hliník je v pravidelných intervaloch odpichovaný z pece a transportovaný do odlievárne, kde sa z neho vyrábajú požadované zliatiny pridávaním legovacích prvkov. Následne je očistený od oxidov, plynov a nakoniec odliaty do finálnej formy.

Konečné podoby primárneho hliníka:

- bločky resp. ingoty, určené pre výrobu odliatkov z hliníkových zliatin,
- čapy na prietlačné lisovanie, určené pre výrobu hliníkových lisovaných profilov,
- ingoty, určené pre výrobu valcovaných produktov.

V priemysle má význam výroba tzv. **penového hliníka**. Takýto materiál má výhodný pomer pevnosti k hmotnosti. Technológie pre priemyselnú výrobu takéhoto materiálu vynašli slovenskí vedci pod vedením Ing. Františka Simančíka. Okrem toho sa využívajú

drahokamové odrody korundu Al_2O_3 - rubín a zafír. Al_2O_3 tiež slúži na výrobu brúsneho papiera.

V liečiteľstve sa využíva napr. octan hlinitý $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ - soľ kyseliny octovej; ako obklad proti zápalom.

2.4 Med' – Cuprum

Med' ako chemický prvok, **Cuprum – Cu**, je kov červenej farby. Má kubickú plošne centrovanú mriežku a hustotu $8\,900\text{ kg/m}^3$ (čo je asi 3x vyššia hodnota ako má hliník). Tepelná a elektrická vodivosť medi je o niečo nižšia, ako má striebro, ale asi 1,5x vyššia ako má hliník. Elektrická vodivosť technicky čistej medi sa zvyčajne berie ako základ na porovnanie vodivosti kovov a zliatin. Mechanické vlastnosti medi závisia od jej stavu, pri normálnej a znížených teplotách má med' vysokú tvárnosť a húževnatosť. So zvyšujúcou sa teplotou sa jej pevnostné vlastnosti trvalo znižujú a okolo 500°C sa objavuje aj pokles plastických vlastností, preto je najvhodnejšie tvárniť ju za studena. Tvárnením za studena sa zvyšujú jej pevnostné vlastnosti, ale klesá ťažnosť. Med' v liatom stave má pevnosť 160 MPa, valcovaná za tepla 220 MPa. Je odolná proti oxidácii, reaguje však so sírou a sírnymi zlúčeninami za vzniku sulfidu medi. Je charakteristická chemickou stálosťou na vzduchu, ktorá je daná tvorbou tenkej vrstvičky oxidu, ktorou sa na vzduchu med' pokryje. Je stála vo vode (v destilovanej aj morskej) a v niektorých menej agresívnych prostrediach. Tieto vlastnosti technickej medi sú tým priaznivejšie, čím je med' čistejšia. Vyznačuje sa vysokou elektrickou a tepelnou vodivosťou, v praxi sa využíva aj jej dobrá chemická odolnosť. Dobre odoláva poveternostným vplyvom. Patrí medzi najtvárnejšie kovy – možno ju tvárniť za studena s veľkými redukciami. Naopak pri odlievaní treba počítať s jej vysokou zmrázivosťou (1,8 %).

Med' sa v prírode sa vyskytuje jednak **rýdza**, napr. v Amerike, a guľôčky medi sa nachádzajú aj v popole ohnísk černochoch v Katange. Častejšie sa med' vyskytuje v **rudách**. Celkom je známych 600 nerastov medi. Rozdeľujeme ich na:

1) sulfitické medené rudy, patria sem:

- chalkopyrit,
- bornit,
- chalkozín,
- burnonit.

2) kyslíkaté medené rudy a najznámejšie sú:

- oxid meďnatý – kuprit,
- malachit,
- azurit,
- tenorit

3) a ďalšie **úžitkové minerály** medi sú:

- enargit,
- tennantit,
- cubanit.



Obrázok 27 Rýdza meď – Kuprit nájdený v Ľubietovej (zdroj <http://www.mineralogickyspolok.sk/lubietova.html>)

Výroba a rafinácia medi

Meď sa vyrába ako **žiarovými**, tak aj **hydrometalurgickými** technológiami. Prevažuje žiarová výroba, pri ktorej sa postupuje nasledovným spôsobom:

Medené koncentráty sa po čiastočnom predpražení tavia na **medený kamienok**, čo je zmes sulfidov medi a železa, poprípade ďalších kovov. Na praženie sa používajú poschodové alebo fluidné pece. Často sa koncentráty nepražia, čo zjednodušuje výrobu. Tavenie na kamienok sa vykonáva v peciach:

- **nistejových,**
- **šachtových,**
- **elektrodových**
- alebo v peciach na tavenie vo **vznose (cyklónových)**.

Výroba kamienka sa často zintenzívňuje použitím kyslíka alebo ohrevom vzduchu. Vyrobený kamienok obsahuje 30 – 40 % medi. Koncentrát sa pred tavením v šachtových peciach hrudkuje aglomeráciou, briketovaním alebo peletizáciou.

Vyrobený kamienok sa prepravuje v panviciach do besemeračných konvertorov, kde sa získa surová (čierna) meď zvaná "blister". Besemerácia sa vykonáva v ležatých valcových konvertoroch typu Peirce-Smith, do ktorých sa po naliatí kamienka vháňa vzduch tryskami. V priebehu besemerácie sa privádza ďalší kamienok a kremičitý piesok, ktorý viaže vznikajúci oxid železa. Princípom besemerácie je prednostne oxidácia FeS na FeO, ktorý sa viaže na kremičitan a čiastočná oxidácia sulfidu medi na oxid, ktorý reaguje so zvyšným sulfidom a vzniká kovová meď.

Elektrolytickou rafináciou medi bola nahradená amalgamačná rafinácia čiernej granulovanej medi. Zavedenie elektrolytickej rafinácie významne zjednodušilo a zefektívnilo hutnícky proces. Metóda sa uplatňuje v takých prípadoch, keď je potrebné z medi odstrániť kovy, ktoré sa nedajú odstrániť pri rafinácii v plameňovej peci. Ide o prímеси kovov, ako arzén, bizmut, antimón, nikel, teda ťažké kovy, ale aj drahé vzácne kovy zlato, striebro, selén, telúr. Touto technológiou sa dosahuje čistota medi 99,9-99,97 %.

Využitie medi

Meď sa na technické účely využíva ako čistý kov (asi 55 % produkcie), aj ako zliatina s rôznymi prvkami (zvyšok). Až 75 % medených výrobkov sa použije v:

- elektrotechnike,
- strojárstve,
- potravinárstve,
- chemickom priemysle.

Používa sa napríklad pri výrobe drôtov, plechov, potrubia a mincí, v poľnohospodárstve pri ošetrovaní chorôb plodín, na ochranu dreva, kože a tkanív. Z dôvodu jej vysokej elektrickej a tepelnej vodivosti sa tiež používa ako **metabolit** (organická látka, ktorá sa podieľa na metabolizme). Bežná meďná soľ ako sulfát, uhličitan, kyanid, oxid a sulfid sa používa ako **fungicíd**, zložka v keramike a pyrotechnike, pre pokovovanie elektrolytov ako aj ďalšie aplikácie v priemysle. Zliatiny medi, **bronz a mosadz**, sa používajú na výrobu prístrojov a náradia v rozličných odvetviach.

Zliatiny medi

Zliatiny medi tvoria dve hlavné skupiny:

- **mosadze** – zliatiny medi so zinkom ako hlavnou prísadou, niektoré druhy obsahujú okrem zinku ešte ďalšie legúry, napríklad hliník Al, horčík Mn, olovo Pb, nikel Ni. Ich niektoré druhy so zvyšovaním obsahu zinku podstatne menia mechanické vlastnosti mosadzí.
- **bronz** – zliatiny medi s cínom, hliníkom, olovom ako hlavnými prísadami. Podľa hlavnej legúry má bronz svoj názov – cínový, niklový a pod. Charakteristickou vlastnosťou niektorých bronzov je ich vysoká odolnosť voči korózii.

2.5 Zlato - Aurum

Zlato – **Au**, bolo zrejme prvým kovom, s ktorým praveký človek pracoval, pretože ho našiel v rýdzej forme a bol upútaný jeho zvláštnou farbou, trvalým kovovým leskom a najmä možnosťou tvárniť ho tepaním za studena. Neskôr sa zlato tavelo a oddeľovalo od striebra. Už od najstarších čias bolo zlato meradlom hodnôt a základom obchodu a od 7. stor. pr. n. l. sa zo zlata začali raziť mince.



Obrázok 28 Zlato sa dá v prírode nájsť aj v čistom (rýdzom) stave
(zdroj, <http://zlato-drahokamy.blogspot.sk/search/label/Zlato%20v%20pr%C3%ADrode>)

Zlato má žltú farbu a krásny trvalý lesk. Jeho atómová hmotnosť je 196,967, merná hmotnosť 19,32 g / cm³. Taví sa pri teplote 1063 °C a tavenina nadobúda zelenú farbu. Už pri teplote

1100 °C sa začína znateľne odparovať, hoci teplota varu je až 2 966 °C. Zlato je mäkký, tvárny kov s pevnosťou v ťahu asi 108,8 MPa pri ťažnosti 50 %. Tvárnením za studena sa dá spevniť až cez 294 MPa. Tvrdosť podľa Brinella je 18,5 RB.

V horninách sa vďaka svojej inertnosti vyskytuje prakticky iba ako rýdzi kov. Kockový nerast vytvára pliešky a zrná uzavreté najčastejšie v kremennej výplni žíl. Kryštály nie sú hojné, často mikroskopicky rozptýlené v šedom žilnatom kreme.

Vyskytuje sa rýdze alebo v zliatine so striebrom (elektrum). Po rozrušení žíl sa dostáva do náplavov, odkiaľ sa rýžuje. Najbohatšie svetové náleziská sú v južnej Afrike, na Urale, v Austrálii; okruhlíky zlata (nugety, až kilogramové) v Kanade a na Sibíri. V Česku sú zlatonosné žily v stredných Čechách (napr. Jílové, Roudný), v Jeseníkoch (Zlaté Hory) a v okolí Kašperských hôr, na Slovensku pri Kremnici, ale aj v západnej časti Malých Karpát.

Je **najhúževnatejšie** zo všetkých kovov. Dá sa vytepať na fólie hrubé 0,000 1 mm a vytiahnuť na drôt o priemere 0,005 mm. Zlieva sa veľmi dobre. Povrch sa pri tavení neokysličuje ani nesýti plynmi, takže zlato možno taviť bez akýchkoľvek ochranných opatrení. Chemicky je zlato veľmi odolné, po platine najlepšie zo všetkých kovov. Zlato odoláva dokonale väčšine kyselín, lúhov, solí a zo svojich zlúčenín sa ľahko vylučuje v podobe kovu. Rozpúšťa sa len v ortuti, s ktorou tvorí amalgám, v kyanidoch na komplexnú soľ a potom v činidlách, ktoré uvoľňujú chlór, ako je lúčavka kráľovská alebo zmes kyseliny s inými silne oxidačnými látkami.

Rýdze zlato sa používa len zriedka, pretože je príliš mäkké a ľahko sa poškodzuje oterom. Aj na obchodné účely sa zlaté mince používajú len veľmi zriedka. Veľmi mnoho zlata sa spotrebuje na výrobu šperkov a umeleckých predmetov všetkého druhu. Vo veľkej miere sa používa vo forme zliatin o určitej rýdzosti, ktorá sa úradne kontroluje a puncuje.

Rýdzosť zlata sa udáva buď v tisícinách rovnako ako u striebra alebo podľa starého spôsobu v karátoch. (Karát bola pôvodne zlatnícka váhová jednotka.) Čisté zlato zodpovedá rýdzosti 24 karátov čo je 99,984 %, takže 1 karát rýdzosti je 4,166 %. Najbežnejšie šperkové zlato má 14 karátov, čo je 58,333 %. Inak 1 karát je hmotnostná jednotka - zodpovedá 2×10^{-4} kg.

Rýdzosť	puncová značka
999	
986	
900	
750	
585	

Obrázok 29 Puncové označenie zlatých predmetov (zdroj, <http://www.vykupzlata.sk/puncove-oznacenia>)

2.5.1 Výroba zlata

Pri banskej ťažbe sa vyťažená hornina drví a zlato sa získava plavením (ryžovaním) alebo flotáciou a amalgamáciou, chlórovaním, v poslednej dobe prevažne kyanidovaním.

Spôsoby získavania :

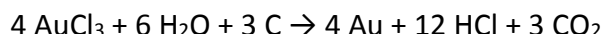
Ryžovanie (gravitačná metóda) - ak sú prítomné makroskopické častice zlata. Z nánosov odplavením ľahšej jaloviny silným prúdom vody. „Corduroyovanie“ – jemne rozomletá ruda v podobe kalu preteká vibrujúcim splavom potiahnutým tkaninou (corduroy), na ktorej sa zlato zachytáva.

Flotácia (fyzikálno-chemická metóda) - na základe rozdielnej zmáčavosti zložiek rudy s vodou a rozdielnej schopnosti viazať bublinky vzduchu. Využíva sa, ak je zlato viazané na sulfidy kovov v zmesnej rude. Mletá ruda sa mieša s vodou, pridávajú sa kolektory (olejové látky viažuce sa na častice a zvyšujúce ich hydrofóbnosť) a penotvorné tenzidy. Privádzaný vzduch sa viaže na častice sulfidov kovov, ktoré prechádzajú do peny, tá sa zberá a odstraňuje sa z nej vzduch. Výsledkom je flotačný koncentrát, ktorý sa ďalej spracováva selektívnou flotáciou.

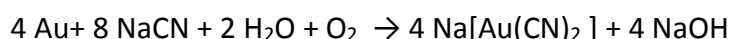
Amalgamácia - rozdrvená ruda pri styku s ortuťou na platniach vytvára hubovitú zliatinu zlato-ortuťový amalgám, ktorý sa v peci zahrieva a ortuť sa z neho oddestiluje.

Tento spôsob je už prekonaný a bol nahradený kyanizáciou.

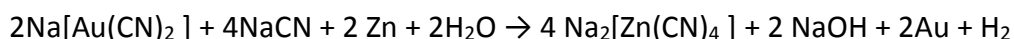
Chlórovanie - spracovanie výpražkov zlatonosných pyritov s chlórovým vápnom, kyselinou sírovou a vodou, kedy vzniká chlorid zlatitý a následne jeho rozklad zelenou skalicou alebo drevným uhlím :



Kyanizácia - hlavný spôsob získavania zlata, na základe ľahkej rozpustnosti zlata v zriedených roztokoch alkalických hydroxidov, potrebný je nadbytok O_2 . Vylúhovanie prebieha niekoľko dní v plytkých kruhových nádržiach s prívodmi vzduchu a miešadlami podľa reakcie :



Roztok komplexného kyanidu sa zráža Zn alebo Al v kadiach. Kal sa odfiltruje a rozpustí v olove, z retorty sa olovo a zinok oddestilujú a zostane surové zlato.



Hydrometalurgický postup dobývania zlata z nízkorydzočných rúd predstavuje z ekologického hľadiska veľmi rizikový proces. Nasadenie kyanidových roztokov v tonových až stotonových množstvách predstavuje obrovské riziko v prípade, že dôjde k havárii.

2.5.2 Využitie zlata

Na technické účely sa spotrebuje len malá časť vyrobeného zlata, predovšetkým na niektoré súčasti laboratórnych prístrojov, na trysky pri výrobe umelého hodvábu, na hroty plniacich pier, na dekoráciu porcelánu, v koloidnom stave na výrobu rubínu skla. Vzhľadom k svojej vynikajúcej elektrickej vodivosti a inertnosti voči vplyvom prostredia sa veľmi často používa v **mikroelektronike** a počítačovom priemysle. Hlavným oborom využitia je tu predovšetkým zaistenie dlhodobej a bezproblémovej vodivosti dôležitých spojov v počítači (kontakty

mikroprocesora a zbernice dát). Pre tieto účely sa príslušné kontaktné povrchy elektrolyticky pokrývajú tenkou zlatou vrstvou. Aj spotreba v zubnom lekárstve sa stále znižuje. Často sa používa zlato na zlatenie strieborných alebo medených výrobkov a to naplátovaním (tzv. Dubl), galvanickým alebo mechanickým nanášaním tepaného lístkového zlata. Na nekovové povrchy (drevo, kameň) sa zlato nanáša mechanicky, pričom sa využíva fakt, že kovové zlato možno rozvalcovať alebo vyklepať do mimoriadne tenkých fólií o hrúbke iba niekoľkých mikrometrov (z 1 g zlata možno vyrobiť fóliu s plochou až 1 m²). V tomto prípade má zlatá fólia na povrchu pozlacovaného predmetu funkciu nielen ochrannú, ale aj estetickú – pozlátené sochy, časti stavieb.



Obrázok 30 Zlatá pagoda v Bangkoku, Wat Phra Kaeo, Golden Chedi,, (zdroj, http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%BAbor:Bangkok-Wat_Phra_Kaeo-Phra_Sri_Rattana.jpg)

2.6 Mechanické vlastnosti materiálov a ich skúšanie

Skúšobne metódy sú založené na pôsobení vonkajších síl na skúšaný materiál a kvantitatívnom vyjadrení výsledku tohto pôsobenia, čiže na určenie mechanických charakteristík kovov. Výsledky skúšok sa vyjadrujú číselne a využíva ich konštruktér, technológ a prevádzkový inžinier na správnu voľbu konštrukčných materiálov pre dané použitie v praxi. Sú evidované na príslušnom protokole zo skúšok, ktorý je súčasťou sprievodnej dokumentácie vyrábaného dielca. Mechanické vlastnosti je potrebné zisťovať takými metódami, ktoré majú určité pravidlá, aby získané hodnoty vlastností boli zrozumiteľné a porovnateľné v každom ohľade. Existuje široká škála mechanických skúšok pre určovanie mechanických vlastností materiálov, napriek tomu v ďalšom texte sú popísané základy troch základných metód skúšania mechanických vlastností materiálov.

2.6.1 Statické skúšky

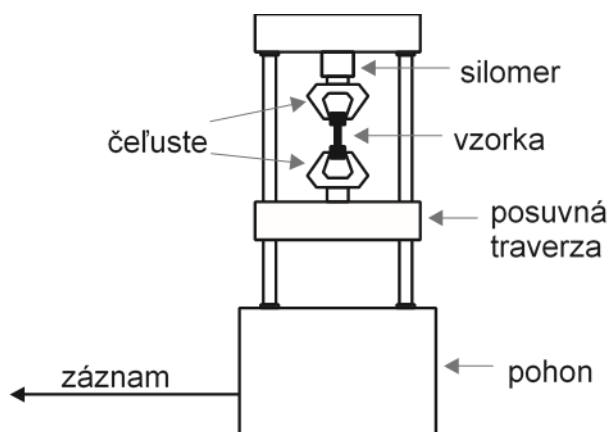
Zaťažovanie skúšobných vzoriek pri statických skúškach vzrastá pomaly spojito a rovnomerne obvykle iba raz až do porušenia skúšobného telesa. Podľa druhu zaťažovania poznáme statické skúšky:

- ťahom
- tlakom
- ohybom
- krúteným
- šmykom

Statická skúška v ťahu

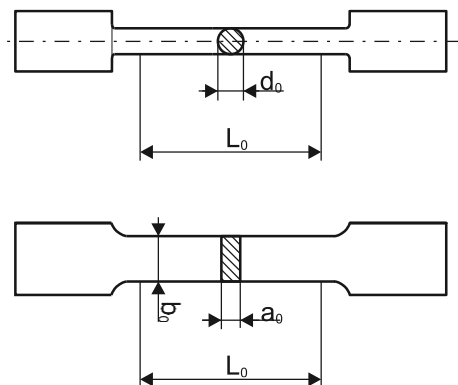
Statická skúška jednoosovým ťahom je mechanická skúška, ktorá sa svojou jednoduchosťou zaradila medzi základné mechanické skúšky. Už v roku 1638 Galileo Galilei zisťoval hmotnosť, ktorú udržia prúty, pričom postupne pridával na prúty závažia až do ich porušenia. Schéma zariadenia pre statickú skúšku ťahom je znázornená na obr. 1 a pozostáva z nasledovných základných častí:

- rám zariadenia prenáša zaťažujúcu silu zo zaťažovacieho zariadenia na skúšobnú tyč,
- zaťažovacie zariadenie vyvoláva zaťaženie posuvom traverzy, čím sa deformuje skúšobná tyč,
- zariadenie na meranie a záznam sily,
- zariadenie na meranie a záznam deformácie.



Obrázok 31 Schematické znázornenie trhacej skúšky (zdroj, <http://mreferaty.aktuality.sk/charakteristika-trhacej-skusky/referat-7345>)

Aby bolo možné definovať napätové a deformačné charakteristiky materiálu statickou skúškou ťahom, je potrebné materiál tvarovo pripraviť. Tvar, rozmery a príprava skúšobných tyčí sa zhotovujú podľa normy STN 10002-1. V zásade rozdeľujeme skúšobné tyče na krátke a dlhé a tyče s kruhovým a obdĺžnikovým prierezom, ako je to na obrázku 32.



Obrázok 32 Skúšobná tyč pre statickú skúšku ťahom s kruhovým a obdĺžnikovým prierezom (zdroj, http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/06a_pruznost_pevnost.php)

Poznáme tieto druhy skúšobných vzoriek:

- **krátke vzorky pri kruhovom priereze** $L_0 = 5d_0$, pri inom priereze je $l_0 = 5,65S_0/0,5$, kde L_0 - pôvodná dĺžka, d_0 - pôvodný priemer S_0 - pôvodná plocha
- **dlhé vzorky pri kruhovom priereze** $L_0 = 10 d_0$ respektíve $L_0 = 11,3 S_0$ na 0,5

Skúšobný stroj automaticky zaznamenáva pracovný diagram skúšky ťahom v súradniciach, ťahovú silu a absolútne predĺženie meranej dĺžky $F=f(\Delta l)$. Pracovný diagram znázorňuje priebeh odporu skúšaného materiálu proti jeho deformácii a porušeniu. Preto každý materiál a jeho stav má charakteristický tvar skúšky ťahom. Merané veličiny sú charakterizované nasledovne:

Medza klzu v ťahu $R_e (f_y)$ - je napätie, pri ktorom sa skúšobná tyč začne výrazne predlžovať bez toho, aby vzrastalo ťahové napätie, prípadne dochádza k predlžovaniu skúšobnej tyče pri súčasnom poklese napätia.

(podľa normy STN P ENV 1993-1 sa používa značenie f_y a $f_{0,2}$.)

Vypočíta sa podľa vzťahu:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} [MPa],$$

kde: F_e - sila na medzi klzu v ťahu(N),

S_0 - pôvodný prierez skúšobnej vzorky v mieste drieku (mm^2)

Dohovorená medza klzu v ťahu $R_{p0,2}(f_{0,2})$ - je napätie ktoré zapríčiní trvalé predĺženie s veľkosťou $\Delta l = 0,2$ % pôvodnej dĺžky l_0 skúšobnej vzorky. Táto veličina sa meria u tých materiálov, u ktorých sa výrazná medza klzu neobjaví. Určuje sa graficky alebo prietahomerom

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0} [MPa],$$

kde: $F_{p0,2}$ – je sila na dohovorenej medzi klzu

Medza pevnosti v ťahu R_m - je napätie získané ako podiel maximálneho zaťaženia F_n (N) a pôvodného prierezu vzorky v mieste drieku pred skúškou

$$S_0 (mm^2). R_m = \frac{F_m}{S_0} [MPa]$$

Ťažnosť A - je trvalé pomerné predĺženie po pretrhnutí, ktoré sa vyjadruje v %. Ťažnosť na krátkej skúšobnej vzorke sa označuje A_5 a na dlhej A_{10} . Na plochých vzorkách sú rozmery A_{50} a A_{80} , pri dĺžkach vzoriek 50 mm a 80 mm.

Kontrakcia Z – je pomerné zúženie prierezu po pretrhnutí v mieste lomu vyjadrené v %.

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0},$$

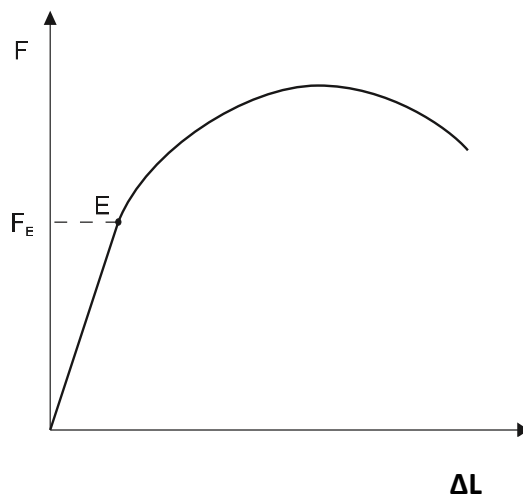
kde: S_0 - pôvodný prierez v mieste drieku,

S_u - prierez skúšobnej vzorky po pretrhnutí.

Samotná statická skúška ťahom prebieha tak, že pripravená skúšobná tyč sa upne do čelustí trhacieho stroja, pričom je dôležité, aby os skúšobnej tyče bola v osi pôsobenia zaťažovacej sily. Definovanou rýchlosťou a plynulým posuvom traverzy sa skúšobná tyč zaťažuje a zároveň deformuje zvyčajne až do porušenia. Základným výsledkom mechanickej skúšky

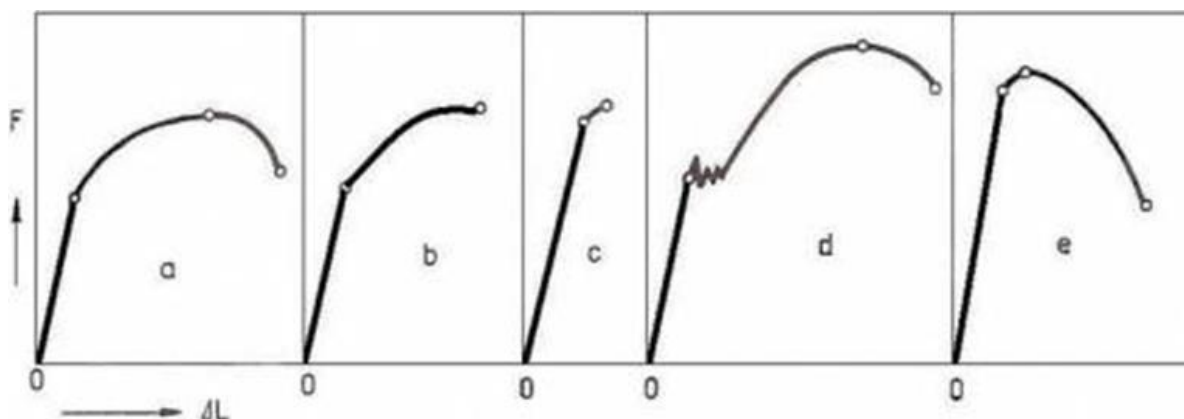
ťahom je zaznamenaný graf závislosti zaťažujúcej sily F od predĺženia ΔL , ktorý je znázornený na obrázku 33.

V takomto zázname je možné pozorovať, že od začiatku zaťažovania dochádza k lineárnemu rastu zaťažovacej sily F v závislosti na predĺžení ΔL až po bod E, pričom lineárna závislosť



Obrázok 33 Záznam zo statickej skúšky ťahom. (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=526>)

zodpovedá pružnej (vratnej) deformácii materiálu. Po prekročení zaťažovacej sily F_E danej bodom E dochádza k plastickej (nevratnej) deformácii materiálu, čo znamená, že sila F_E predstavuje silu, ktorej prekročením sa začne skúmaný materiál plasticky deformovať. Sila F_E vzťahnutá na prierez skúšobnej tyče S_0 je napätie nazývané medza pružnosti.



Obrázok 34 Základné typy pracovných diagramov (zdroj <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=526>)

Základné typy pracovných diagramov (obrázok xy)

- a – diagram uhlíkovej nelegovanej ocele, bez výraznej medze skazu
- b – diagram materiálu, ktorý sa poruší pri maximálnej sile, bez vytvorenia krčka
- c – diagram krehkého materiálu, napríklad sivej liatiny
- d – diagram ocele s výraznou medzou skazu
- e – diagram materiálov, ktoré sa v oblasti plastickej deformácie výrazne spevňujú

2.6.2 Statická skúška tlakom

Je vhodná na skúšanie a hodnotenie krehkých materiálov a materiálov namáhaných v prevádzke na tlak (sivá liatina - frémy, stavebné materiály). Skúšobné vzorky majú valcovitý tvar priemeru $d_0 = 20-30$ mm. Výška $h = 20-30$ mm. Postupne sa zaťažujú až do rozdrvenia alebo stlačenia na určitú hodnotu. Zaznamenávajú sa pracovné diagramy, ako pri skúške ťahom a stanovuje sa medza pevnosti v tlaku R_{pd} , medza klzu v tlaku R_{ed} , pomerné stlačenie A_d , pomerné priečne rozšírenie Z_e .

2.6.3 Statická skúška ohybom

Vykonáva sa iba pri krehkých materiáloch, najmä pri sivej liatine, preto u húževnatých materiálov porušenie vzorky ohybom nenastane.

Určuje sa pevnosť v ohybe $R_{po} = M_{o\max} / W_o$,

kde $M_{o\max}$ - je maximálny ohybový moment pri skúške,

W_o - modul prierezu v ohybe (pre kruhový prierez $\frac{\pi \cdot d^3}{32} [mm^3]$)
(obdĺžnikový $\frac{b \cdot h^2}{6} [mm^3]$)

2.6.4 Skúška rázom v ohybe

Skúškou sa zisťuje odolnosť materiálu, predovšetkým ocelí proti krehkému porušeniu pri **dynamickom, rázovom zaťažení**.

Krehké porušenie je nestabilné oddelenie častíc materiálu, vznik lomovej plochy pri nominálnom napätí nižšom, ako je medza klzu materiálu, zistená statickou skúškou v ťahu. Vzniká náhle a šíri sa vysokou rýchlosťou. Lomová plocha je málo členitá, je kolmá na najväčšie normálové ťahové napätie. Pred porušením a v priebehu porušenia nedochádza k väčšej plastickej deformácii - hovoríme o minimálnej makroplastickej deformácii, o bezdeformačnom porušení. Spotrebovaná energia na porušenie vzorky je minimálna.

Princíp skúšky rázom v ohybe

Skúška rázom v ohybe podľa STN EN 10045-1 sa vykonáva na kyvadlovom kladive, ktoré sa nazýva aj **Charpyho kladivo**. Skúšobné teliesko je štvorhran s rozmermi 10x10x55 mm, v strede s vrubom (obrázok 36).

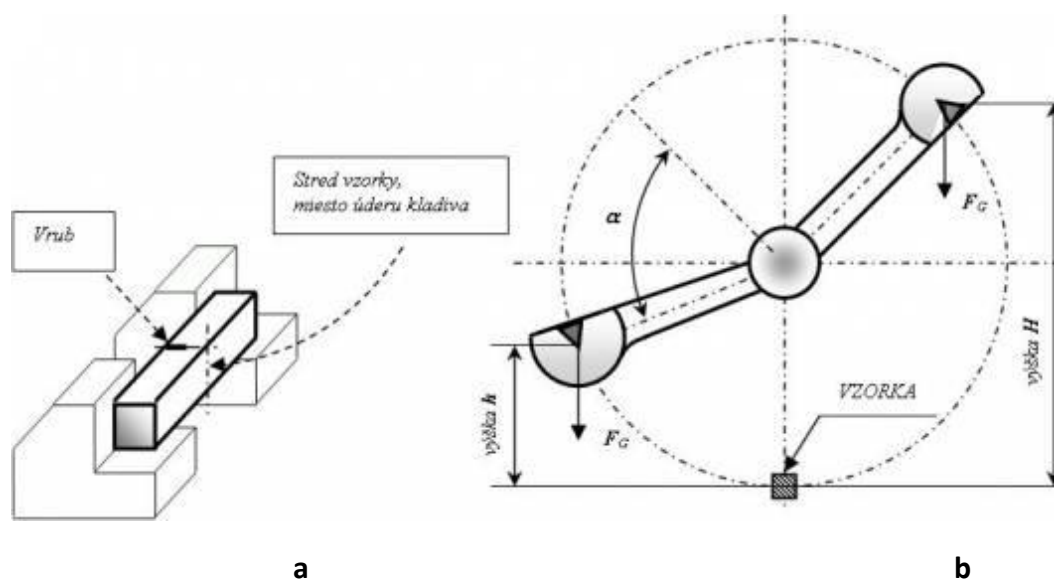
Princíp skúšky je založený na dynamickom trojbodovom ohybe, ako je to znázornené na obrázku 35. Skúšobné teliesko je uložené na podperách a na stranu oproti vrubu pôsobí zaťaženie (F). Veľkosť zaťaženia je zabezpečená pádom kladiva s tiažou F_G , ktoré je spustené z definovanej výšky H a teda jeho kinetická energia je v najnižšej polohe padajúceho kladiva rovná počiatočnej potenciálnej energii:

$$W_k = F_G \cdot H$$

Pri náraze sa časť kinetickej energie spotrebuje na deformačnú prácu skúšobného telieska a zvyšok umožní výkmit kladiva do výšky h . Čím viac kinetickej energie sa spotrebuje na

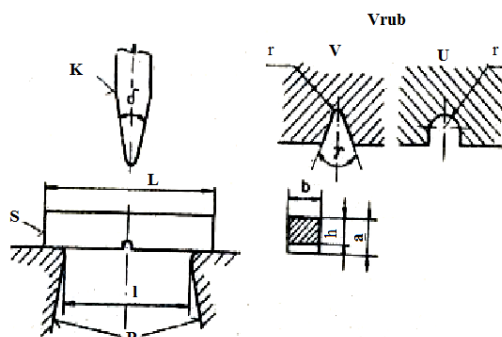
deformáciu telesa, tým menšie bude vychýlenie kladiva do výšky h a teda väčšia hodnota húževnatosti materiálu K :

$$K = W_p - W_p^i = F_G(H - h)$$



Obrázok 35 Princíp skúšky rázom v ohybe: a) uloženie skúšobného telesa; b) Charpyho kladivo (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=530>)

Podľa množstva spotrebovanej práce sa posúdi vrubová húževnatosť materiálu. Vrubová húževnatosť KC sa vyjadruje podielom spotrebovanej práce K a plochy prierezu tyče S_0 v mieste vrubu, kde $S_0 = b \cdot h$



Obrázok 36 Tvar skúšobného telieska s vrubom:
V - tvar vrubu telieska, **U** – tvar vrubu telieska, **K** – kladivo (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=530>)

Dôležité je skúšať vrubovú húževnatosť materiálov používaných pri nízkych teplotách. Ako sme už uviedli, ich vplyvom klesá prudko húževnatosť a dochádza tak ku krehkému porušeniu. Skúškami sa stanoví tzv. prechodová, alebo tranzitná teplota T , pri ktorej hodnota vrubovej húževnatosti poklesne na strednú hodnotu KC .

Výraz pre vrubovú húževnatosť je:

$$KC = \frac{K_v (K_u)}{S_0}$$

kde: KC vrubová húževnatosť [$J \cdot cm^{-2}$]

K_v - je spotrebovaná práca na prerazenie vzorky[J], pre vrub tvaru V
 K_u - je spotrebovaná práca na prerazenie vzorky[J] pre vrub tvaru U
 S_0 - je prierez vzorky v mieste vrubu [cm^2]

Ak skúšobné teliesko nemá vrub, je to skúška rázovej húževnatosti. Používa sa pre nekovové materiály (keramika, plastické látky a pod.).

2.6.5 Skúšky tvrdosti - základné teoretické poznatky

Veľmi často v praxi sa tvrdosť materiálu považuje za rozhodujúcu vlastnosť z hľadiska jeho použitia. Vysoká tvrdosť sa vyžaduje najmä u nástrojov pre trieskové obrábanie, pre tvárniace a meracie nástroje. Tvrdosť materiálu úzko súvisí s odolnosťou proti opotrebeniu, preto vysoká tvrdosť napr. zubov ozubených kôl, hriadeľov, čapov a iných súčastí spravidla zabezpečuje ich dlhodobú životnosť. Skúšky tvrdosti sú v praxi veľmi rozšírené z hľadiska ich jednoduchosti, rýchleho vykonania, ale aj možnosti ich použitia v tom prípade, kde sa iné mechanické skúšky použiť nedajú (hotové výrobky, veľmi ťažké kusy a pod.).

Definícia tvrdosti

Tvrdosť materiálu je odpor proti deformácii jeho povrchu, vyvolávaný mechanickým účinkom tvrdšieho telesa stanovených rozmerov.

Vzhľadom na skutočnosť, že sú používané rôzne skúšobné metódy, je tvrdosť závislá od celého radu faktorov a nie je možné ju považovať za fyzikálnu veličinu. Napriek tomu, vzhľadom na reprodukovateľnosť merania, je potrebné do vzorcov dosadzovať vždy jednotné veličiny, pri zaťažení [kp] (tam, kde nie je ukončená prestavba skúšobných prístrojov na SI sústavu) alebo [N] (je ukončená prestavba), pri ploche [mm^2].

Tvrdosť možno všeobecne vyjadriť: **$H = f(e, P, F, T, t, v)$**

kde : **e** - pružné vlastnosti skúšaného kovu, najmä moduly E, G, a K;

P - plastické vlastnosti skúšaného kovu, vrátane schopnosti deformačného spevňovania,

F - veľkosť sily pôsobiacej na indenter (vtlačacie teliesko),

T - tvar, rozmery a tvrdosť indentora,

t - trenie medzi indentorom a skúšaným kovom,

v - rýchlosť pohybu vtláčacieho telieska.

Tvrdosť sa posudzuje podľa veľkosti deformácie pri pôsobení stáleho zaťaženia, alebo podľa veľkosti zaťaženia potrebného k vyvolaniu určitej deformácie.

Skúšky tvrdosti môžeme podľa princípu rozdeliť na:

- **Vtláčacie skúšky** – zakladajú sa na vtláčaní presne definovaného telesa, **indentora**, do materiálu. Meradlom tvrdosti je veľkosť vzniknutého vtláčku alebo hĺbka vtláčenia.
- **Vrypové skúšky** – sú také, pri ktorých sa do hladkého povrchu skúšaného kovu rýpe diamantovým telieskom, zaťaženým určitým závažím. Tvrdosť sa hodnotí podľa šírky vrypu.
- **Odrážové skúšky** – tu sa využíva odraz telieska určitého tvaru a hmotnosti od povrchu skúšaného materiálu.

Podľa rýchlosti zaťažujúcej sily sú:

- statické
- dynamické skúšky.

Podľa účelu sú skúšky:

- makrotvrdosti (kovu ako celku),
- mikrotvrdosti (štruktúrnych zložiek).

Výsledky tvrdosti namerané rôznymi metódami sa nedajú porovnávať. Pre porovnanie tvrdostí rôznych kovov teda musíme použiť len rovnakú metódu. Skúšobné metódy prešli značným vývojom a k najpoužívanejším patria:

Statické skúšky tvrdosti podľa:

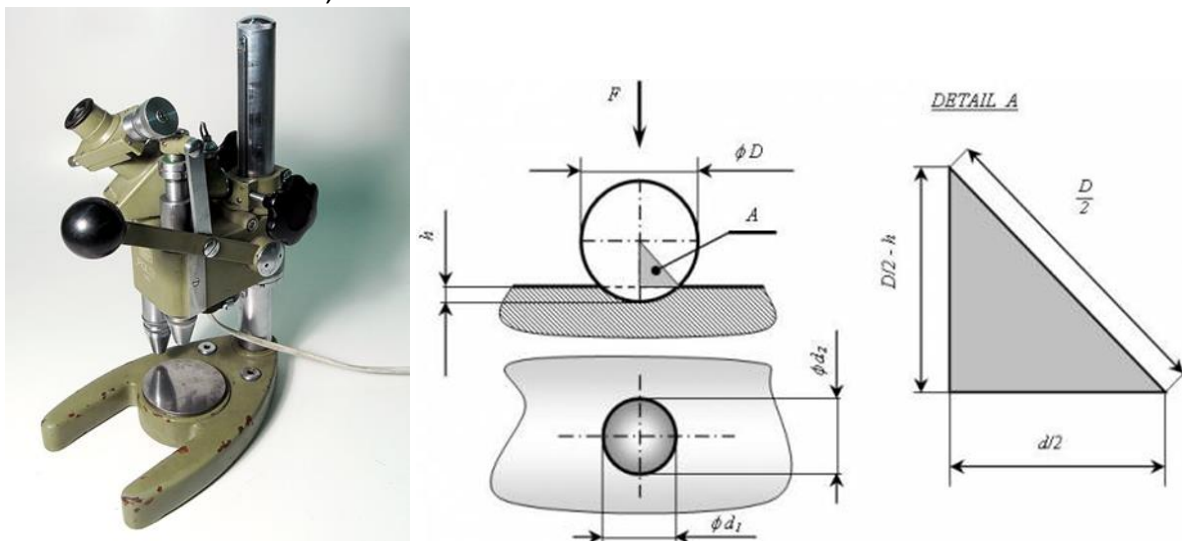
- Brinella (STN EN ISO 6506-1),
- Vickersa (STN EN ISO 6507-1),
- Rockwella (STN EN ISO 6508-1)
- meranie tvrdosti podľa Knoop

Dynamické skúšky tvrdosti, to znamená zaťažujúca sila sa mení rýchle, rázom. Pre tieto spôsoby merania tvrdosti sa používajú jednoduché zariadenia, malé a ľahko prenosné.

- dynamická skúška pomocou Poldi-kladivka,
- Shoreho skleroskop
- skúšky mikrotvrdosti

MERANIE TVRDOSTI PODĽA BRINELLA

Do vhodne pripraveného skúšaného materiálu vtlačáme určitým zaťažením F , po dobu t , kalenú guľôčku, **indenter** z tvrdokovu s priemerom D . Po odľahčení guľôčka zanechá v skúšanom materiály vtlačok s priemerom d . Povrch vtlačku s guľového vrchlíka je kritériom pre hodnotenie materiálu, obrázok 37.



Obrázok 37 Brinellov tvrdomer, schématické znázornenie merania tvrdosti podľa Brinella.
(zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=531>)

Príprava skúšaného materiálu

Prebrúsená skúšobná vzorka, v ktorej nedošlo k miestnemu prehriatiu ani deformácii za studena, je uložená na nepoddajnej, hladkej, čistej podložke, zaťaženie pôsobí kolmo na povrch a hrúbka vzorky je minimálne 0,6 D. Voľbu veľkosti zaťaženia pre rôzne podmienky skúšania a pomer zaťaženie - priemer guľôčky pre rôzne kovové materiály uvádza tab. 1A a 2B.

Tvrdosť podľa Brinella je definovaná:

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1),$$

alebo

$$HB = \frac{0,102F}{S} = \frac{0,204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2),$$

kde **F** je veľkosť zaťaženia [kp] (1), [N] (2),

S je povrch vtlačku [mm²],

D je priemer guľôčky z tvrdokovu [mm], **d** je aritmetický priemer vtlačku, vyjadrený ako hodnota z dvoch meraní **d**₁ a **d**₂ na seba kolmých [mm].

Hodnoty tvrdosti možno vypočítať podľa uvedeného vzťahu, ale prakticky sa určujú z tabuliek. Pre správne vykonanie skúšky Brinellovej tvrdosti musia byť splnené podmienky, a to:

- priemer guľôčky **D**
- veľkosť zaťažujúcej sily **F**
- čas pôsobenia zaťaženia

Priemer guľôčky D môže byť 10; 5; 2,5; 2 a 1 mm, pričom jeho hodnota sa volí podľa rozmerov skúšobného telesa. Platí zásada, že hrúbka telesa **s** musí byť väčšia ako 10 násobok hĺbky vtlačku **h**. Podobne platí, že vzdialenosť stredu vtlačku od okraja skúšobného telesa musí byť najmenej 2,5.d a medzi jednotlivými vtlačkami 4.d. Pokiaľ to rozmery skúšaného telesa dovoľujú, prednostne sa volí guľôčka o priemere 10 mm.

Zaťažujúca sila F sa určuje podľa priemeru guľôčky a podľa tvrdosti skúšaného materiálu, pričom platí vzťah:

$$F = 9,81K.D^2 \quad [N]$$

Doba zaťaženia silou **F** závisí od materiálu, pričom u ocelí sa volí 10 - 15 s, u zliatin neželezných kovov 10 - 180 s.

- **K** je konštanta závislá od druhu a tvrdosti materiálu, ako je to uvedené v tabuľke.

Tabuľka 2 Hodnoty konštánt pre jednotlivé materiály

Materiál	K	Tvrdosť HBS(W)
Železo, oceľ, liatina, vysoko pevné zliatiny	30	od 96 do 450
Meď, nikel, a ich zliatiny	10	od 32 do 200
Hliník, horčík, zinok a ich zliatiny	5	od 16 do 100
Ložiskové kovy	2,5	od 8 do 50
Cín, olovo	1	od 2 do 20

Brinellova tvrdosť sa označuje HBW. Brinellovo označenie tvrdosti HBW sa nesmie zameniť s predchádzajúcim označením HB, čo je označenie pre tvrdosť pri použití kalenej ocelevej guľôčky ako vtlačaného telieska. Písmená HBW sa uvádzajú pre hodnotu tvrdosti a doplnené sú indexom, ktorý charakterizuje podmienky skúšky v nasledujúcom poradí: priemer guľôčky (mm), veľkosť skúšobného zaťaženia (kp), čas pôsobenia skúšobného zaťaženia (s), ak sa líši od stanoveného času (stanovený čas od začiatku zaťaženia do jeho plnej hodnoty nesmie byť menší ako 2 s a väčší ako 8 s, čas pôsobenia plného zaťaženia je potom od 10 s do 15 s).

Príklad 1.

350 HBW 5/750 je označenie pre Brinellovu tvrdosť s hodnotou 350 stanovenou guľôčkou z tvrdokovu s priemerom 5 mm pri skúšobnom zaťažení 7,355 kN s časom zaťaženia od 10 s do 15 s.

Príklad 2.

600 HBW 1/30/20 je označenie pre Brinellovu tvrdosť s hodnotou 600 stanovenou guľôčkou z tvrdokovu s priemerom 1 mm pri skúšobnom zaťažení 294,2 N s časom zaťaženia 20 s.

Tabuľka 3 Hodnoty zaťaženia pre rôzne podmienky skúšania

Označenie tvrdosti	Priemer guľôčky z tvrdokovu D [mm]	Pomer zaťaženie-priemer guľôčky $0,102 \times F/D^2$ [N/mm ²]	Menovitá hodnota skúšobného zaťaženia F	
			[N]	kp
HBW 10/3000	10	30	29 420	3000
HBW 10/1500	10	15	14 170	1500
HBW 10/1000	10	10	9 807	1000
HBW 10/500	10	5	4 903	500
HBW 10/250	10	2,5	2 542	250
HBW 10/100	10	1	980,7	10
HBW 5/750	5	30	7 355	750
HBW 5/250	5	10	2 452	250
HBW 5/125	5	5	1 226	125
HBW 5/62,5	5	2,5	612,9	62,5
HBW 5/25	5	1	245,2	2,5

HBW 2,5/187,5	2,5	30	1 839	187,5
HBW 2,5/62,5	2,5	10	612,9	62,5
HBW 2,5/31,25	2,5	5	306,5	31,25
HBW 2,5/15,625	2,5	2,5	153,2	15,625
HBW 2,5/6,25	2,5	1	61,29	6,25
HBW 1/30	1	30	294,2	30
HBW 1/10	1	10	98,07	10
HBW 1/5	1	5	49,03	5
HBW 1/2,5	1	2,5	24,52	2,5
HBW 1/1	1	1	9,807	1,0

Tabuľka 4 Hodnoty pomeru zaťaženia na priemer guľôčky pre rôzne kovové materiály

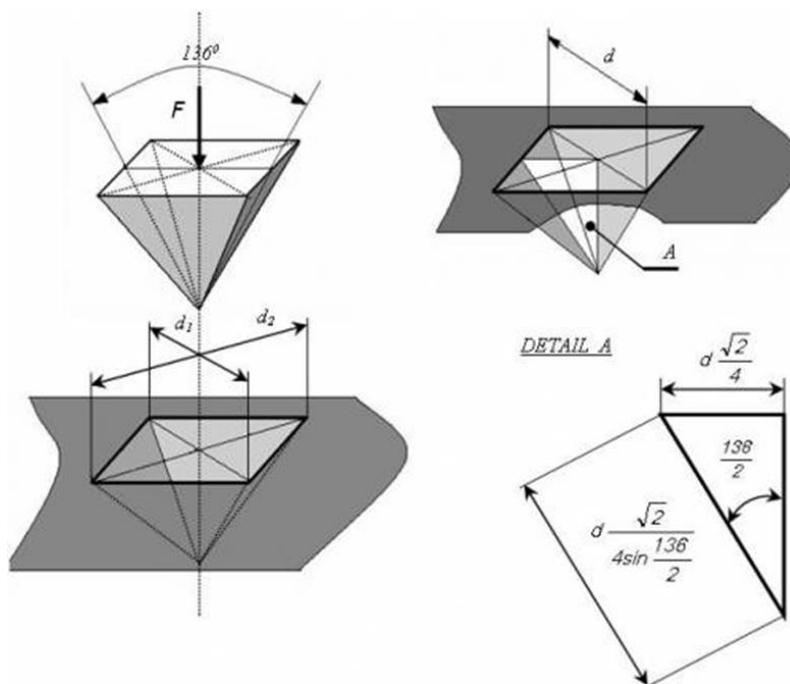
Skúšaný materiál	Brinellova tvrdosť HBW	Pomer zaťaženie - priemer guľôčky $0,102 \times F/D^2$ [N/mm ²]
Oceľ, zliatiny niklu, zliatiny titánu	-	30
Liatina (pri skúškach liatiny musí byť priemer guľôčky 2,5 mm, 5 mm alebo 10 mm)	< 140 ≥ 140	10 30
Meď a zliatiny medi	< 35 od 35 do 200 > 200	5 10 30
Ľahké kovy a ich zliatiny	< 35 od 35 do 80 > 80	2,5 5 10 15 10 15
Olovo, cín	-	1

SKÚŠKA TVRDOSTI PODĽA VICKERSA

Do vhodne pripraveného skúšaného materiálu vtlačáme určitým zaťažením F , po dobu t štvorboký diamantový ihlan (**indenter**) s vrcholovým uhlom 136° . Po odľahčení ihlan zanechá v skúšanom materiáli vtlačok. Plocha povrchu vtlačku je kritériom pre hodnotenie tvrdosti materiálu, pričom meriame uhlopriečky vtlačku (obrázok 38).

Použitie skúšky tvrdosti podľa Vickersa sa pohybuje v rozmedzí od veľmi mäkkých kovov, ako je olovo a cín, do veľmi tvrdých kovov, ako je kalená oceľ a karbid volfrámu. Vzorky

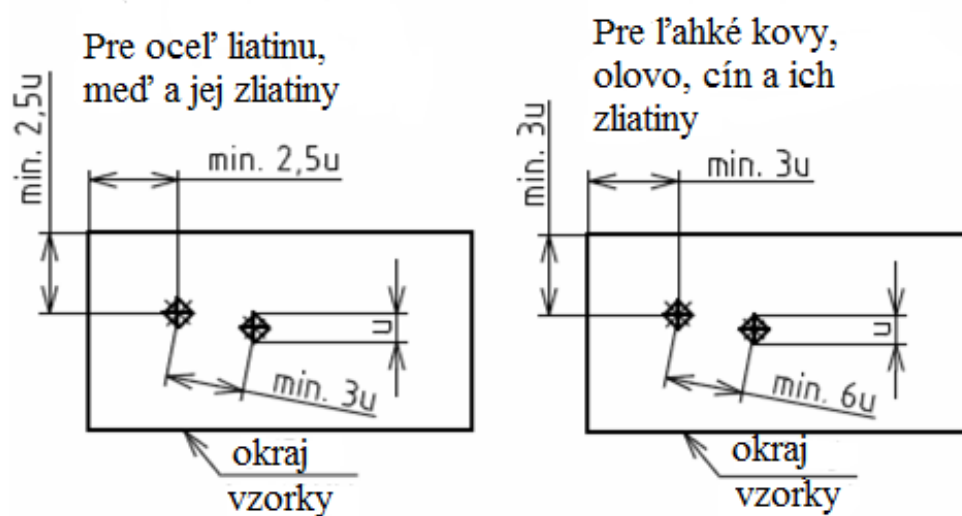
(skúšobné telesá) musia mať hladký a rovný povrch, ktorý musí byť odmastený. Spôsob je vhodný najmä pre malé obrobky s povrchovou úpravou.



Obrázok 38 Princíp merania tvrdosti podľa Vickersa, s geometrickými údajmi na výpočet povrchu vtlačku S (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=531>)

Príprava skúšaného materiálu

Jemne prebrúsená skúšobná vzorka je uložená na nepoddajnej, hladkej, čistej podložke. Zaťaženie pôsobí kolmo na povrch a hrúbka vzorky pod vtlačkom nesmie byť menšia ako 1,5-násobok uhlopriečky vtlačku (obrázok 39).



Obrázok 39 Podmienky merania tvrdosti v rôznych druhoch materiálov. (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=52>)

Voľba skúšobného zaťaženia a doby pôsobenia.

Normálny rad používaných zaťažení F je 1,961 (0,2); 2,942 (0,3); 4,903 (0,5); 9,807 (1); 19,61 (2); 29,42 (3); 49,03 (5); 98,07 (10); 196,1 (20); 294,2 (30); 490,3 (50) a 980,7 (100) N (kp). Označovanie Vickersovej tvrdosti je potom HV0,2, HV0,3, HV0,5, HV1, HV2, HV3, HV5, HV10, HV20, HV30, HV50, HV100.

Hodnotenie tvrdosti.

Tvrdosť podľa Vickersa je definovaná:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin 68^\circ}{d^2} = \frac{1,854F}{d^2} \quad (1) \quad \text{alebo} \quad HV = \frac{F}{S} = \frac{0,189F}{d^2} \quad (2)$$

kde F je veľkosť zaťaženia [kp] (1), [N] (2),
 S je plocha povrchu vtlačku [mm²],
 d je aritmetický priemer meraných dĺžok uhlopriečok d_1 a d_2 vtlačku [mm].

Označovanie tvrdosti

Vickersova tvrdosť sa označuje HV. Písmená HV sa uvádzajú za hodnotu tvrdosti a doplnené sú indexom, ktorý charakterizuje podmienky skúšky v nasledujúcom poradí: veľkosť skúšobného zaťaženia (kp), čas pôsobenia skúšobného zaťaženia (s), ak sa líši od stanoveného času (stanovený čas od začiatku zaťaženia do jeho plnej hodnoty nesmie byť menší ako 2 s a väčší ako 8 s, čas pôsobenia plného zaťaženia je potom od 10 s do 15 s).

Príklad 1.

640 HV30 je označenie pre Vickersovu tvrdosť s hodnotou 640, stanovenú skúšobným zaťažením 294,2 N a s časom zaťaženia od 10 s do 15 s.

Príklad 2.

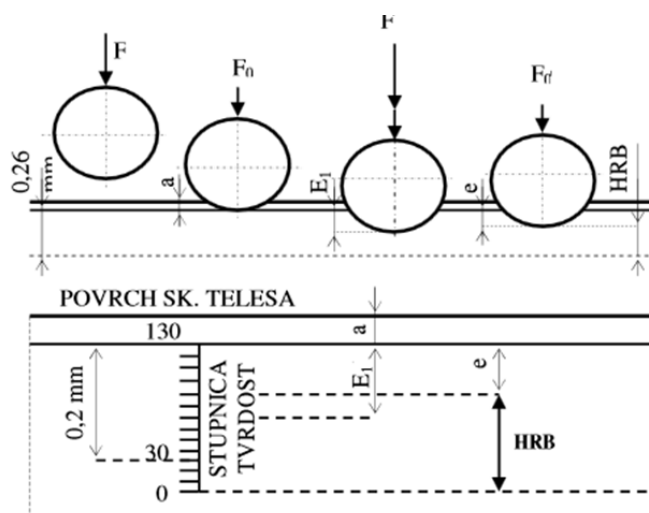
640 HV30/20 je označenie pre Vickersovu tvrdosť s hodnotou 640 stanovenú skúšobným zaťažením 294,2 N a s časom zaťaženia 20 s

SKÚŠKA TVRDOSTI PODĽA ROCKWELLA

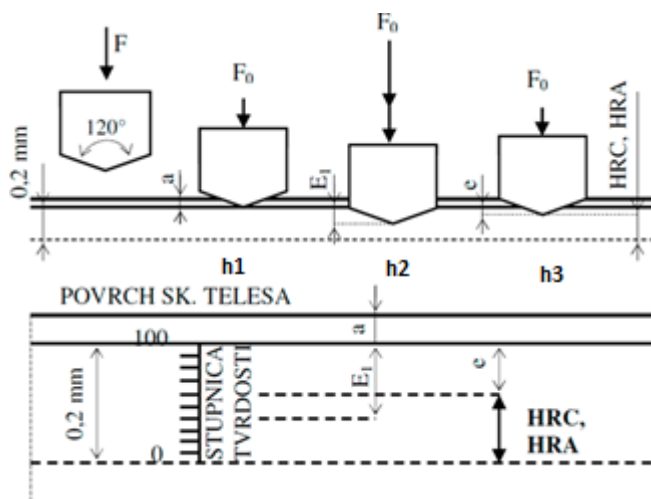
Skúška sa vykonáva podľa normy STN EN ISO 6508-1, s platnosťou od októbra 1999. Princíp merania tvrdosti podľa Rockwella spočíva v tom, že skúšobné teleso – **indentor** – vplyvom presne stanoveného zaťaženia vniká do skúšaného materiálu, pričom sa z miery deformácie povrchu tohto materiálu (meria sa hĺbka vniknutia indentora) usudzuje jeho tvrdosť (ide o jamky hlboké cca 0,2 mm). Skúšobná metóda je určená pre stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T. V praxi sa najčastejšie využívajú stupnice A, B, C. Skúška tvrdosti podľa Rockwella patrí k vnikacím skúškam. Od skúšok tvrdosti podľa Brinella a Vickersa sa líši tým, že tvrdosť je definovaná ako hĺbka trvalého vtlačku.

Pri skúške tvrdosti podľa Rockwella vtlačáme do vhodne pripraveného skúšaného materiálu pri metóde „B“ kalenú oceľovú guľôčku s priemerom 1/16", t.j. 1,5875 mm, najprv predbežným zaťažením 10 kp (98,07 N) – vtlačok **a** (obr.) a nasleduje zaťaženie 90 kp (882,6 N) – vtlačok **E₁**. Pod účinkom sily $F = 10 + 90$ kp (98,07 + 882,6 N) = 100 kp (980,7 N) sa vytvorí vtlačok s hĺbkou **e** = **a** + **E₁**.

Stupnica B



Obrázok 40 Meranie tvrdosti materiálu podľa Rockwella stupnica B (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=531>)



Obrázok 41 Meranie tvrdosti materiálu podľa Rockwella stupnica A a C. (zdroj, <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=531>)

Skúška tvrdosti podľa Rockwella – metóda C.

Hĺbka vtlačku je kritériom pre hodnotenie tvrdosti podľa Rockwella.

Pri metóde „C“ vtlačáme diamantový kužeľ s vrcholovým uhlom 120° najprv predbežným zaťažením 10 kp (98,07) – vtlačok h_1 (obrázok 41) a nasleduje zaťaženie 140 kp (1373 N) – vtlačok h_2 . Pod účinkom zaťaženia $F = 10 + 140$ kp (98,07 + 1373 N) = 150 kp (1471,07 N) sa vytvorí vtlačok s hĺbkou $h = h_1 + h_2$. Jeden stupeň tvrdosti zodpovedá hĺbke vtlačku 0,002 mm.

Po odľahčení, t.j. po odstránení zaťaženia $F = 90$ kp (882,6 N) – metóda „B“ a $F = 140$ kp (1373 N) – metóda „C“ je potom trvalá hĺbka vtlačku h_3 kritériom pre vyhodnotenie tvrdosti skúšaného materiálu. Tvrdosť je možné vypočítať zo vzťahu $HRB = 130 - h_3$ (metóda „B“) a $HRC = 100 - h_3$ (metóda „C“). Nakoľko tvrdomery sú vybavené indikátormi s dvoma

stupnicami pre metódu „B“ aj „C“, hodnotu tvrdosti odčítame priamo. Spravidla sa urobí niekoľko meraní a z nich sa potom stanovuje výsledná stredná hodnota tvrdosti.

2.7 Dynamické skúšky tvrdosti

Skúšky sú označované ako plastické, pretože cieľom skúšky je vytvoriť trvalý vtlačok, ktorého rozmer slúži na vyhodnotenie tvrdosti. Ako indenter u dynamicko - plastických skúšok je najčastejšie využívaná guľička. Najpoužívanjšou metódou je skúška Poldi kladivkom.

MERANIE TVRDOSTI - POLDI KLADIVKO

Prenosný tvrdomer o hmotnosti približne 0,5 kg, ktorý umožňuje stanovenie tvrdosti na základe plastickej deformácie vzniknutej úderom a porovnanie vzniknutého vtlačku s veľkosťou vtlačku v materiály so stanovenou tvrdosťou. Súprava obsahuje vlastný tvrdomer, etalón (porovnávaci tyčinku), tabuľky a lupu pre meranie odtlačku. Etalón je vyrobený z ocele o pevnosti $R_m = 686,5$ MPa. Ak by bol pri skúšaní použitý etalón o inej pevnosti, je nutné výsledok merania skorigovať.

Prepočítavací koeficient pre inú pevnosť etalónu než 686,5 MPa:

$$k = \frac{R_m}{686,5}$$

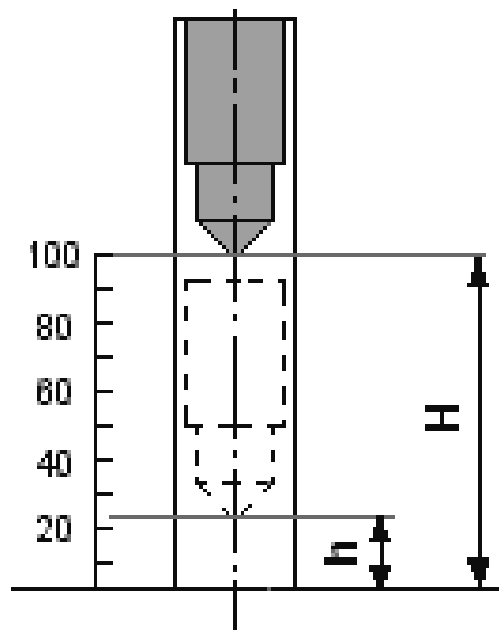
TVRDOSŤ PODĽA METÓDY SHORE

Pri skúške sa ako teliesko vrhané na skúšaný povrch materiálu používa presne definovaná štandardná guľôčka (priemerom a hmotnosťou). Meranie sa zakladá na určení pomeru energie guľôčky dopadajúcej na skúšaný materiál ($E_A = m \cdot g \cdot h_A$) a energie odrazenej guľôčky ($E_R = m \cdot g \cdot h_{R1}$). Hodnota tvrdosti je daná vzťahom

$$HS = E_A / E_R$$

Skúška odrazom podľa Shorea - touto metódou zisťujeme tvrdosť z veľkosti odskoku závažia (guľička, diamantový hrot) spusteného z určitej výšky od testovaného materiálu. Pôsobením závažia dôjde k plastickej deformácii testovaného materiálu a ku spotrebovaniu časti energie závažia. To sa potom neodrazí do pôvodnej výšky. Patrí medzi dynamicko-elastické skúšky.

Shoreho skleroskopu sa používali predovšetkým k meraniu tvrdosti valcov do valcovacích stolíc, väčšinou len pre meranie tvrdosti veľkých výrobkov, konštrukcií a pod. Používali sa v dvoch stupniciach – HSC a HSD. Pádové teleso je valcového tvaru ukončené diamantovým hrotom s polomerom zaoblenia 1 mm.



Obrázok 42 Skleroskop Shore (schéma)

Stupnica Shore HSC

- hmotnosť pádového telesa: 2,5 g
- pádová výška: 254 mm

$$HSC = (10^4 \times h) / (65 \times H)$$

kde: H - pádová výška [mm]
 h - výška odskoku [mm]

Stupnica Shore HSD

- hmotnosť pádového telesa: 36,2 g
- pádová výška: 19 mm

$$HSD = (140 \times h) / H$$

kde: H - pádová výška [mm]
 h - výška odskoku [mm]

U dynamických skúšok na materiál nepôsobí plynulo rastúca sila, zaťaženie je vyvolané dynamicky, razom. Nevýhodou dynamických skúšok proti skúškam statickým je menšia presnosť nameraných hodnôt.

Výhodou je, že tvrdomery majú malé rozmery a dajú sa ľahko prenášať. Skúšky dynamické majú teda uplatnenie najmä v prevádzkových podmienkach a pri meraní tvrdosti rozmerných súčastí, ktoré nemožno skúšať v laboratóriu. Podľa povahy deformácie vzniknutej v skúšanom materiáli sa rozlišujú skúšky plastické a elastické.

3 NEKOVOVÉ MATERIÁLY

Nekovové pevné látky sa vyznačujú komplikovanejšou vnútornou stavbou ako kryštalické kovové materiály. Medzi technicky významné pevné nekovové látky zaraďujeme predovšetkým keramické materiály, sklá a plasty. Každý z nich má z hľadiska vnútornej stavby svoje výrazné špecifiká, ktoré ohraničujú ich využiteľnosť v technickej praxi. Napríklad, namiesto jedného atómu v základnom uzlovom bode mriežky je umiestnený zhluk rôznych druhov atómov s určitým usporiadaním. V prípade amorfných materiálov (sklá a plasty) je usporiadanie jednotlivých atómov viac-menej náhodné, i keď možno pozorovať aj určité usporiadanie na relatívne krátku vzdialenosť v porovnaní s kovmi.

V technickej praxi sa používajú v rôznych oblastiach nekovové materiály, ktoré majú iné fyzikálne, mechanické a technologické vlastnosti ako kovové materiály. Medzi základné nekovové materiály patria:

- plasty,
- keramické materiály,
- sklo,
- drevo
- textil,
- rôzne druhy kameňa (žula, rula, ...),

Z technického hľadiska sa najčastejšie používajú plasty, keramické materiály, sklo a drevo.

3.1 Plastické látky – plasty

Plasty sú makromolekulové látky (makromolekuly prírodných alebo syntetických zlúčenín), ktoré možno formovať do požadovaného tvaru teplom alebo tlakom, prípadne pôsobením oboch faktorov súčasne. Plasty sa vyrábajú prevažne z ropy a zemného plynu, v menšej miere z uhlia a biomasy. Pôvodné, takmer výlučné využívanie plastických látok bolo v elektrotechnickom priemysle, neskôr vo výrobe spotrebného tovaru a v poslednom desaťročí sa orientuje aj na strojárstvo a stavebníctvo. V konkurencii s klasickými materiálmi predovšetkým kovmi sa polyméry presadili jednoduchou spracovateľnosťou, nízkou hustotou a výhodným pomerom medzi úžitkovými vlastnosťami a cenou. Ďalší vývoj polymérnych materiálov stále pokračuje. Spotreba plastických látok vo svetovom meradle prudko stúpa.

3.1.1 História výroby plastov

Počas storočí používali ľudia prírodné organické polyméry vo forme vosku a živice. V 19. storočí boli objavené plasty na základe chemicky modifikovaných prírodných polymérov.

Označenie plasty je odvodené z gréckeho slova plassein (tvarovať). Vlastnosti plastov ich predurčili na to, aby boli všade. Presný začiatok ich používania sa líši v rozdielnych názoroch historikov. Niektorí tvrdia, že informácie o plastoch sú zachytené už v Starom zákone, kde sa popisuje používanie prírodných materiálov v podobe lepidiel či náterov.

Blízky vzťah k plastom má história spracovania kaučuku. Tu sa historické pramene zhodujú na roku 1851, keď bol vyrobený **ebonit**, prvý tepelne vodivý materiál, s inou chemickou

modifikáciou ako prírodný. Na poli plastov sa s Európou spája niekoľko významných objavov. V roku **1832 Henry Bracconot** pripravil zo škrobu, pilín, bavlny a kyseliny dusičnej látku **xiloidín**. Zistil, že je rozpustná v octe a vytvára pevné povlaky. O štrnásť rokov neskôr, v roku 1846, nemecký chemik **Christian Friedrich Schönbein** chcel v laboratóriu rýchlo utrieť bavlennou zásterou rozliatu zmes kyseliny dusičnej a sírovej, čím nechtiac vyrobil **strelnú bavlnu**, teda nitrocelulózu, presnejšie nitrát celulózy. Extrémna horľavosť látky zabránila jej použitiu v textilnom priemysle, ale svoje uplatnenie si našla ako strelná bavlna - nedymiaci pušný prach. V nasledujúcich desaťročiach boli vypracované metódy na spriadanie nitrocelulózy do vlákien a ich premena na nehorľavú **celulózu**. V roku 1850 anglický vynálezca **Alexander Parkes** zistil, že pevný zvyšok získaný odparovaním pri rozpúšťaní kolódia, je elastická vodeodolná substancie. Parkes dokonca založil firmu na výrobu produktov z nového materiálu, tá však nemala dlhé trvanie.

Komerčný úspech čakal plasty až v krajine neobmedzených možností - USA. Od roku 1860 v USA experimentoval **John Wesley Hyatt** s **nitrátom celulózy** a v roku 1870 si spolu s bratom Isaiahom nechali patentovať proces na výrobu materiálu, podobného rohovine. Nová látka nazvaná **celuloid** bola štartom veľkého komerčného úspechu. V spoločnosti Hyatt's Celluloid Manufacturing Company vyrábali z celuloиду množstvo produktov, okrem iného klávesy do klavírov a gombíky. Celuloid zohral významnú úlohu pri vzniku filmárstva a na začiatku 20. storočia sa stal súčasťou dynamického rozvoja automobilového priemyslu. V dvadsiatych a tridsiatych rokoch ho však postupne vytlačil menej horľavý **acetát celulózy - bakelit** a nové vinylové polyméry. Na začiatku tretieho milénia si nitrát celulózy zachoval svoje výsadné postavenie prakticky len pri výrobe loptičiek pre stolný tenis.

Spolu s nitrátom celulózy hral významnú úlohu v rannom období plastov **formaldehyd**. Okolo roku 1897 sa vďaka nemu objavili plastické látky **galalid a erinoid**. V roku 1899 požiadal Arthur Smith o registráciu patentu na **fenolformaldehydový elastický kaučuk** ako náhradu za ebonit v elektroizolácii. Na začiatku 20. storočia sa látky na báze fenolu stali prvými plne syntetickými kaučukmi, ktoré sa dobre predávali. Po fenole sa záujem sústredil na ďalšie chemikálie – močovinu a tiomočovinu s formaldehydom.

V rovnakom čase ako kaučuky na báze močoviny uzrel svetlo sveta celulóзовý acetát - termoplastická látka so štruktúrou podobnou nitrátu celulózy. V porovnaní so svojím starším predchodcom však bola bezpečnejšia pri spracovávaní aj použití. Rozmach plastov nastal v období od roku 1930 do roku 1940. Vtedy boli objavené látky, ktoré sa využívajú dodnes: **polyvinylchlorid**, nízkohustotný **polyetylén**, **polystyrén** a **polymetylmetakrylát**. Záujem o plasty ako náhradu za prírodné materiály, predovšetkým kaučuk, stúpol na začiatku druhej svetovej vojny. Po ukončení vojny nastal naozajstný vek plastov. Objavený bol **polypropylén** a **vysokohustotný polyetylén** a plastické látky sa začali využívať prakticky vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Široká škála produktov dramaticky znížila ceny a tieto plasty postupne začali vytláčať tradičné prírodné materiály - drevo, papier, kov, sklo a kožu. Ako to už v histórii ľudstva býva, po čase nastal v oblečení a zariaďovaní bytov hlad po prírodných materiáloch, ale plasty sa nevzdali. Len sa presunuli inam.

3.1.2 Zloženie plastov

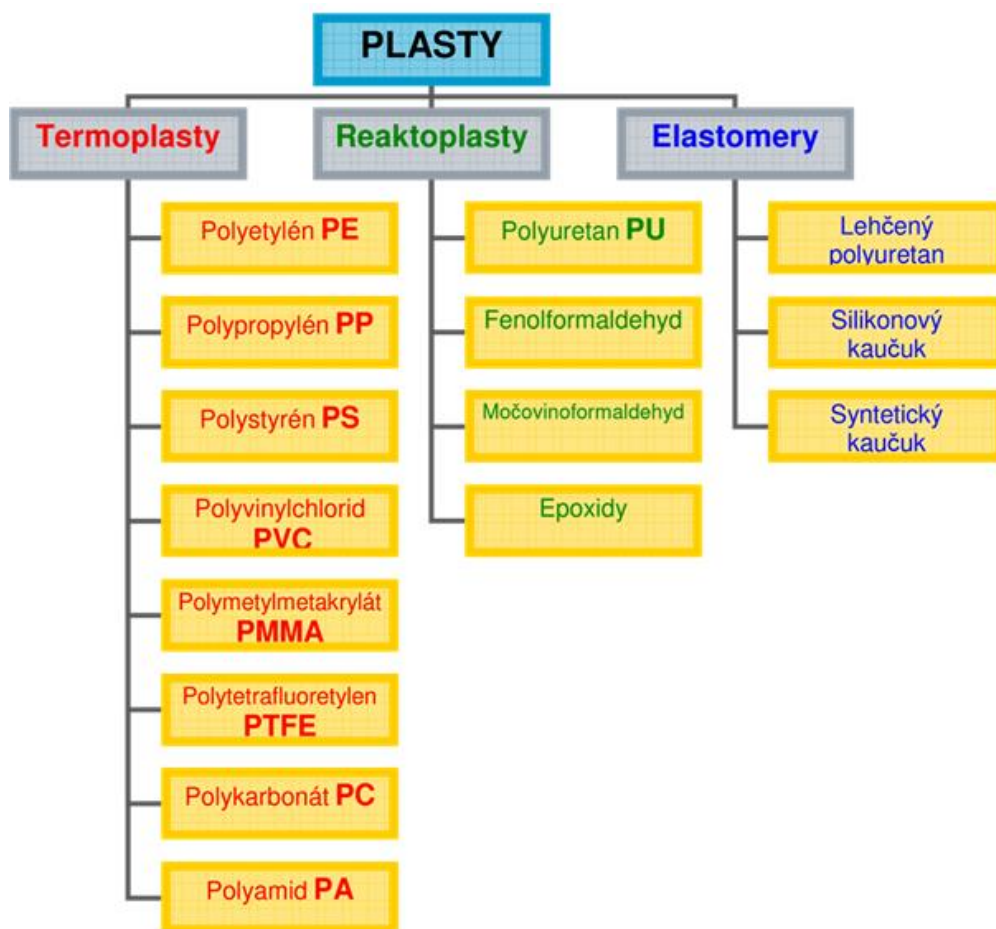
Plasty definujeme ako makromolekulové, organické zlúčeniny zložené z jednoduchých organických zlúčenín – **monomérov** (základ plastov). Monoméry sú obvykle malé molekuly s relatívne nízkou molekulovou hmotnosťou.

Každý plast je v podstate zmesou niekoľkých látok a to :

Spojivo – základná makromolekulová látka tvoriaca plast (polyetylén, polyamid atď.) je nositeľom fyzikálno-mechanických vlastností plastu ako celku. Okrem spojiva sú potrebné aj ďalšie prísady, ktoré ovplyvňujú výsledné vlastnosti plastov.

Za týmto účelom sa pridávajú **plnivá**. Plnivá sa delia na:

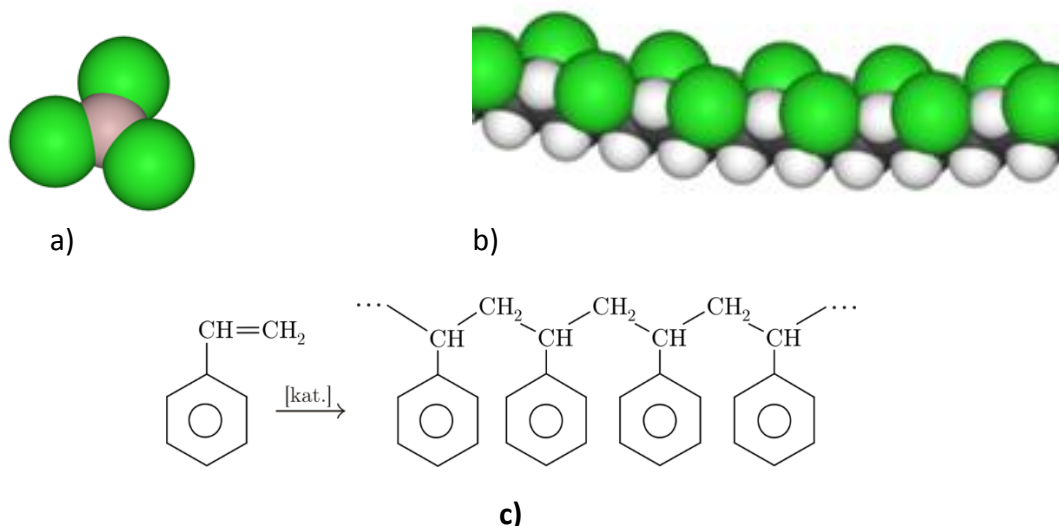
- vystužujúce – najčastejšie v tvare vlákien (sklené, uhlíkové a pod.)
- nevystužujúce – vo forme práškov (anorganické múčky, kaolín a pod.)



Obrázok 43 Rozdelenie plastov a skratkové označenie (zdroj, autor)

V makromolekulách sú monoméry navzájom spojené kovalentnými chemickými väzbami do tzv. **polymérneho reťazca**.

Monoméry tvoria **lineárne, rozvetvené, priestorové reťazce**. Monoméry jedného druhu tvoria **polyméry**, dvoch druhov sú **kopolyméry** a troch druhov vytvárajú **terpolyméry**. Obsahujú veľké množstvo atómu uhlíka, vodíka, a i. Okrem týchto makromolekúl obsahujú tiež prísady: farbivá, stabilizátory, urýchľovače, zmäčkovadlá, sklené vlákna, tvrdidlá, papier, azbest, a pod.



Obrázok 44 a) monomér, b) polymérny reťazec, c) polymerizácia styrénu (etenylbenzénu) vzorec (zdroj, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aluminium-trichloride-monomer-3D-vdW.png>)

3.1.3 Rozdelenie plastov

A. Podľa použitých východiskových surovín

- a) Plasty vzniknuté z prepracovania **prírodných** makromolekulových látok, pri ktorých sú východiskovou surovinou najčastejšie celulóza (buničina) alebo iné bielkovinové látky. Známe výrobky z týchto látok sú napr. **vulkanofiber**, **celuloid**, **celofán** a pod.
- **vulkanofiber** - je jednou z najstarších plastických látok. Východiskovou surovinou je neglejený papier z drevnej, alebo bavlnenej celulózy. Papier impregnujeme chloridom zinočnatým, necháme vyzrieť, premyjeme vodou, usušíme a vo vrstvách zlisujeme. Získame tak dosky, alebo rúrky. Spracúvame ho ohýbaním, alebo obrábaním na rozličné strojové súčiastky ako sú podložky, tesnenia, ozubené kolieska a pod. Uplatňuje sa aj ako elektroizolačný materiál.
 - **celuloid** - je priehľadný, bezfarebný, ale pridaním farbiva ho možno sfarbiť. Je termoplastický. Nevýhodou je ľahká vznietivosť.
 - **celofán** - viskózová fólia, je priehľadná a nepriepustná pre tuky, oleje a benzín. Málo odoláva vode (stráca pevnosť). Má malú priepustnosť plynov a pár. Používame ho zväčša na obaly. V textilnom priemysle kombinujeme viskózové vlákna s bavlnou, alebo s vlnou.
 - **acetát celulózy** - je podobný celuloidu, ale je nehorľavý. Má dobrú elektrickú pevnosť a pekný vzhľad. Môže byť bezfarebný, priehľadný, alebo rozlične sfarbený. Je termoplastický. Taví sa pri teplote 150 až 180 °C. Používame ho na výrobu filmov, bezpečnostného skla, galantérneho tovaru, technických výliskov, umelých vlákien, lakov, izolácií, lepidiel a pod.
- b) Látky vyrábané úplne **synteticky**, syntézou nízkomolekulových organických zlúčenín. Východiskovou surovinou je ropa, zemný plyn, čierne uhlie a iné. Pri syntéze sa uplatňujú rôzne polyreakcie, ako sú polymerizácia, polykondenzácia a polyadícia.

Polymerizáciou sa získavajú napr. polyetylén, polypropylén, polyvinylchlorid (PVC), polystyrén a pod.

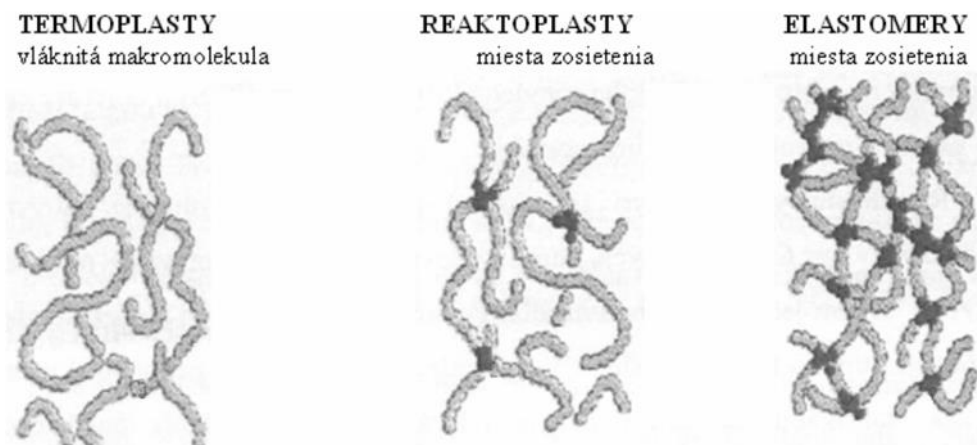
B. Podľa druhu chemickej reakcie

Polyreakcie používané na prípravu makromolekulových látok sa odlišujú svojím mechanizmom podľa chemickej štruktúry monomérov a zvolenej polymerizačnej techniky. Typ polyreakcie ovplyvňuje výsledné usporiadanie štruktúry plastickej hmoty a tým aj jej vlastnosti. Z najvýznamnejších polyreakcií uvádzame **polymerizáciu, polykondenzáciu a polyadáciu**.

- a) **Polymerizácia** je chemická reakcia, pri ktorej sa molekuly jednoduché organické zlúčeniny zlučujú a tvorí makromolekulové látky bez vzniku vedľajšieho produktu.
 $\text{MONOMÉR} + \text{MONOMÉR} = \text{POLYMÉR}$ (napr.: polyvinylacetát, polyakrylát, polyvinyletylén).
- b) **Polykondenzácie** je reakcia pri, ktorej reagujú dva rovnaké alebo rôzne monoméry, ktoré obsahujú dve alebo viac reakčných funkčných skupín. V priebehu reakcie nevzniká len polymér, ale aj nízkomolekulárne produkty (napr. voda, metanol, amoniak).
 - je to stupňovitá reakcia – možno ju prerušiť a odobrať hlavný alebo vedľajší produkt
 - endotermická reakcia (pohlcujúca teplo)
- c) **Polyadácia** je chemická reakcia, pri ktorej vznikajú za vhodných podmienok makromolekulové látky postupným spájaním molekúl monoméru, bez vzniku vedľajšej nízkomolekulárne látky.

C. Podľa správanie za tepla

- a) Termoplasty - teplom tvarovateľné materiály, ktoré za tepla mäknú a ochladzovaním tuhnú. Zmäknutie a stuhnutie možno opakovať (polyetylén, polyvinylchlorid).
Polyetylén (PE), Polypropylén (PP), Polyizobutylén (PIB), Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrén (PS), Polymetylmetakrylát – plexisklo (PMMA), Polyvinylacetát (PVAC)
- b) Termosety - plasty teplom tvrditeľné- pôsobením tepla vzniká chemická reakcia, pri ktorej sa materiál vytvrdí a prechádza nenávratne do netaviteľného a nerozpustného stavu (epoxidové, fenolové živice).
Fenol formaldehydová živica (Bakelit),
- c) Elastoméry - sú materiály pružné aj za normálnej teploty. Za normálnej teploty prebieha deformácia vratne, za tepla nevratne (syntetický kaučuk, silikón).



Obrázok 45 Rozdelenie plastov podľa správania sa vplyvom tepla (zdroj, <http://slideplayer.cz/slide/2784255/>)

3.1.4 Mechanické vlastnosti plastov

Vlastnosti makromolekulárnych látok sú určované predovšetkým veľkosťou, tvarom makromolekúl a vzájomnou pohyblivosťou reťazcov. Lineárne makromolekuly sú k sebe viazané silami, ktoré obmedzujú pohyblivosť jednotlivých makromolekúl. Dôsledkom malej pohyblivosti polymérov je ich tuhý stav, čiže majú povahu tuhej látky.

Podstatou zisťovania mechanických vlastností plastických látok je skúšanie a zisťovanie, ako pôsobí mechanická sila na skúmaný materiál. Podľa typu pôsobenia sily sa skúšky delia na skúšky:

- **pevnosti,**
- **pružnosti,**
- **tvárnosti**

Z krivky napätia - deformácie môžu okrem hodnoty pevnosti zistiť aj medzu sklzu, ktorá síce svojou podstatou úplne nezodpovedá medzi sklzu určovanej u kovov, avšak jej význam je podobný. Medzou sklzu označujeme to napätie, pri ktorom po prvýkrát na tejto krivke rastie deformácia, bez toho, aby sa zvyšovalo zaťaženie.

Pevnosť (krehkosť) je vlastnosť látok odolávať vonkajším silám. Tiež pevnosť plastických hmôt je závislá na vonkajších podmienkach, aj keď lom nastáva mimo oblasť viskoelastického správania. Správanie pri porušení sa riadia štatistickými zákonmi o počte a rozložení malých chýb, ktoré sú zdrojom vznikajúcich a šíriacich sa lomových trhlín.

Skutočná pevnosť polymérov je z dôvodov mikrodefektov až o dva rády nižšia než teoretická pevnosť vypočítaná z väzobných síl.

Pružnosť študuje vzťah medzi deformáciami telies a vonkajšími silami. Z hľadiska pružnosti rozoznávame **pružné telesá** (elastické telesá), ktoré sa pôsobením vonkajšej sily deformujú, ale po odstránení tejto sily sa vracia do pôvodného stavu a **nepružné telesá** (plastické telesá), ktoré sa po odstránení vonkajšej sily nevrátia do pôvodného stavu.

Tvrdosť (mäkkosť) je vlastnosť, vyjadrujúca odolnosť telesa voči vnikaniu cudzieho telesa do jeho povrchu. Skúma sa podobne ako u kovov.

Tvárnosť je miera schopnosti meniť tvar pôsobením vonkajšej sily pri plastickej deformácii bez porušenia celistvosti materiálu. Tvárnosť úzko súvisí s vnútornou stavbou látky, jej chemickým zložením, teplotou tvárneho materiálu a druhom tvárniaceho procesu.

Pretože sú plasty veľmi závislé na teplote, skúmajú sa všetky tieto vlastnosti za rôznych teplôt. Okrem týchto vlastností je tiež dôležité poznať u plastov ich teploty zosklovatenia a teploty vzniku viskózneho toku.

3.1.5 Tepelné vlastnosti

Z tepelných vlastností sú z konštrukčného hľadiska najdôležitejšie:

- **teplotná rozťažnosť**
- **tepelná vodivosť.**

Teplotná rozťažnosť jednotlivých typov plastických hmôt sa líši v závislosti na ich štruktúrnom usporiadaní a spôsobe plnenia. Neplnené amorfné a kryštalické polyméry majú hodnoty súčiniteľov teplotnej rozťažnosti rádovo vyššie ako kovy. Ak sú naplnené látkami s nízkym koeficientom rozťažnosti (napr. sklom), môžu byť ich súčinitele nižšie ako u kovov.

Vzhľadom k tomu, že **tepelná vodivosť** určitej látky je závislá na schopnosti prevádzať tepelné pohyby z častice na časticu, vykazujú veľmi dobrú tepelnú vodivosť kovové alebo nízkomolekulárne kryštalické materiály so silnou väzbou medzi atómami. Makromolekulové látky s relatívne slabými primárnymi väzbami medzi atómami a sekundárnymi väzbami medzi makromolekulami majú v dôsledku toho hodnoty tepelnej vodivosti nižšie ako kovy, blížiac sa k hodnotám tepelnej vodivosti kvapalín. Z plastov sú najlepšimi tepelnými izolátormi ľahčené penové hmoty (polystyrén, polyvinylchlorid, polyuretány a niektoré iné). Príčinou nízkej tepelnej vodivosti týchto materiálov je veľké množstvo plynu uzavretého v dutinách.

3.1.6 Elektrické vlastnosti

Technický význam plastických hmôt záleží okrem špecifických vlastností mechanických a antikoročných tiež vo vlastnostiach elektrických. Plastické hmoty sa správajú ako materiály nevodivé (dielektriká, izolanty).

Ak pôsobí na plast veľmi silné elektrické pole, stráca obdobne ako iné dielektriká svoje izolačné schopnosti. Odolnosť proti pôsobeniu silného elektrického poľa je udávaná zmluvnou hodnotou tzv. **prierazovej pevnosti** - je to zmluvne stanovené napätie elektrického prúdu, pri ktorom sa izolačný materiál o hrúbke 1 cm stal vodivým do tej miery, že dôjde k jeho prerazeniu.

Hodnoty prierazovej pevnosti sú závislé na rade faktorov, najmä na metóde a podmienkach merania (tvaru elektród, teplote, vlhkosti, hrúbky vzorky atď.). So vzrastajúcou teplotou sa odolnosť proti prierazu znižuje.

3.1.7 Chemická odolnosť

Na rozdiel od kovov hovoríme o korózii plastických hmôt nielen pri pôsobení chemických vplyvov a mechanického namáhania, ale aj pri pôsobení niektorých vplyvov fyzikálnych (napr. svetelná alebo tepelná deštrukcia) a pri napadnutí mikroorganizmami. Pôsobením

chemikálií na polyméry dochádza buď k **bobtnaniu** alebo k reakciám nízkomolekulárneho prostredia s makromolekulami.

Bobtnanie je proces, pri ktorom molekuly prostredia difundujú do polyméru a vytvárajú s molekulárnymi reťazcami sekundárne väzby. To spôsobuje vzájomné oddiaľovanie makromolekulových reťazcov, prejavujúce sa zväčšovaním objemu, znížením mechanickej pevnosti, zhoršením chemických a iných vlastností.

Bobtnanie je procesom vratným. To znamená, že po odstránení rozpúšťadla môže polymér nadobudnúť pôvodné vlastnosti, popr. tvar. Naproti tomu poškodenie (deštrukcie) spôsobované chemickými reakciami prostredia s polymérom je proces nevratný.

Polyméry s reťazcom s jednoduchými väzbami a polyméry, pri ktorých sú niektoré atómy vodíka nahradené fluórom, popr. chlór, veľmi dobre odolávajú anorganickým a organickým kyselinám a zásadám, menej pôsobeniu rozpúšťadiel.

Naproti tomu plasty obsahujúce v makromolekule atómy kyslíka a dusíka sú proti kyselinám a zásadám menej odolné. Majú však dobrú odolnosť proti organickým rozpúšťadlám.

Zvlášť nízku odolnosť proti pôsobeniu chemikálií vykazujú plasty, ak sú súčasne namáhané mechanicky. Kombinovaným namáhaním dochádza najprv ku vzniku drobných trhliniek, ktoré sa stávajú zdrojom krehkých lomov.

Všeobecné vlastnosti plastov

Tabuľka 5 Vlastnosti plastických látok

Hustota (hmotnosť)	od 0,9 – 2,2 kg/ dm ³	výrazne ľahšie ako oceľ
Pevnosť	od 30 – 80 MPa	pri nevystužených látkach
	od 100 – 200 MPa	pri vystužených látkach
Tepelná odolnosť trvalá	od 60 – 90 °C	pri bežných termoplastoch
	od 100 – 120 °C	bežné reaktoplasty a elastoméry
Tepelná rozťažnosť	priemerne 10 × väčšia ako oceľ	
Tepelná vodivosť	100 – 200 × menšia než vodivosť ocele	tepelne dobre izolujú, zle odvádzajú teplo vzniknuté trením
Horľavosť	Klasifikácia horľavosti: • veľmi rýchlo horiace • pomaly horiace • veľmi pomaly horiace • samozhášavé • nehorľavé	
Elektrická vodivosť	sú nevodivé	využívajú sa ako izolácia (dielektrikum)
Chemická odolnosť	pôsobením vody nekorodujú odolávajú lepšie chemikáliám ako kovy	
Opracovateľnosť	veľmi jednoduchá a ekonomicky nenáročná	

3.1.8 Vlastnosti a použitie jednotlivých druhov plastických látok

TERMOPLASTY

Polyetylén PE

Vlastnosti:

- mäkký,
- húževnatý,
- zdravotne nezávadný
- horľavý - ľahko vzplanuteľný
- mechanické vlastnosti si zachováva do -40°C
- odolný voči kyselinám, lúhom, rozpúšťadlám, alkoholom, benzínu, vode a olejom

Použitie:

- v elektrotechnike ako elektroinštalačný materiál,
- v obalovej technike ako fólie,
- pri výrobe akumulátorov, potrubia, fliaš na potraviny,
- nádoby na chemikálie.



Obrázok 46 Výrobky z polyetylénu (zdroj, <http://www.solid1.sk/page2/page8/page8.php>)

Polypropylén PP

Vlastnosti:

- je tvrdší a odolnejší pri vyšších teplotách ako PE,
- menej odolný nízkym teplotám,
- je húževnatý,
- zdravotne nezávadný,
- neprepúšťa plyny a pary,
- je horľavý ,
- odolný voči kyselinám, lúhom, roztokom solí, alkoholom, benzínu, vode a olejom,
- neodoláva nesmie prísť do styku s meďou.

Použitie:

- zdravotnícke potreby,
- elektroizolačný materiál,
- fólie pre obalovú techniku,

- konzervačné nádoby pre potravinársky priemysel.

Polystyrén PS

Vlastnosti:

- tvrdý, tuhý, krehký
- dobré elektroizolačné vlastnosti
- minimálna nasiakavosť
- číry a ľahko farbiteľný
- odolný voči kyselinám, zásadám, alkoholu, tukom, oleju, roztokom solí
- neodoláva benzínu, acetónu, málo odolný voči organickým rozpúšťadlám, citlivý na UV žiarenie

Použitie:

- v elektrotechnike a elektronike,
- obalová technika a stavebníctvo,
- predmety do domácnosti



Obrázok 47 Využitie polystyrénu v praxi (zdroj, <http://www.rekons.sk/zateplenie-polystyrenom-finalnou-fasadou>)

Polyvinylchlorid PVC

Vlastnosti:

- pod bodom mrazu krehne a praská, málo odoláva teplotám nad 45 °C
- málo odolný pôsobeniu svetla (UV lúče) a tepla
- samozhášavý,
- pri tepelnej deštrukcii je toxický
- odolný voči kyselinám, zásadám, vode a alkoholom
- neodoláva acetónu a toluénu

Použitie

- nemäkčený (novodur) na výrobu dosiek, nádrží, zásobníkov, nábytkov, tyčí, rúrok
- mäkkčený (novoplast) na prípravu podlahovín, fólií, pršiplášťov, hračiek, fliaš, hadíc, obrusov a pod.



Obrázok 48 Príklad na využitie polyvinylchloridu (zdroj, <http://www.hledejsoucastky.cz/LastSearches/Show?lastsearch=30117>)

Polymetylmetakrylát PMMA – organické sklo

Vlastnosti:

- tvrdý, krehký, pevný, odolný proti oteru, číry - priehľadný
- odolný voči poveternostným vplyvom, prepúšťa svetelné lúče i UV žiarenie
- ľahko farbitelný a zdravotne nezávadný
- ľahko horľavý a pri horení toxický
- odolný voči slabým kyselinám, tukom, olejom, lúhom
- neodoláva silným kyselinám lúhom

Použitie:

- v letectve a automobilovom priemysle - zasklievanie okien, výroba kabín
- pri výrobe zubných protéz, v kostnej a kĺbovej chirurgii,
- v očnom lekárstve - v gélovej podobe pre kontaktné šošovky

Polytetraflóretylén PTFE

Vlastnosti:

- plastický, biely materiál,
- vysoká chemická a mechanická odolnosť,
- odoláva poveternostným vplyvom
- odolný voči chemikáliám a vysokým teplotám
- neodoláva UV žiareniu

Použitie:

- v strojárskom a chemickom priemysle - súčiastky čerpadiel, tesniace súčasti,
- ochranný film chrániaci pred agresívnymi zlúčeninami
- sklznice lyží
- povrchová úprava varných nádob a panvíc (Teflon)



Obrázok 49 Príklad na využitie polytetraflóretylénu. (zdroj, http://www.rezbarstvo.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=118:tiepacie-sekery-fiskars&catid=29:nastroje&Itemid=52)

Polykarbonát PC

Vlastnosti:

- tvrdý, tuhý, húževnatý
- zdravotne nezávadný
- odoláva olejom, benzínu, zriedeným kyselinám, alkoholom
- neodoláva silným kyselinám, lúhom, benzénu

Použitie:

- pre špeciálne lekárske a laboratórne účely
- v automobilovom priemysle - reflektory, hmlovky, nepriestrelné sklo,
- ochranný prieszor kozmických skafandrov

Polyamid PA

Vlastnosti:

- v suchom stave krehký,
- k dosiahnutiu húževnatosti potrebuje určitú vlhkosť
- je tvrdý, tuhý, dobre farbiteľný, zdravotne nezávadný
- odoláva olejom, benzínu, benzénu, rozpúšťadlám
- neodoláva kyseline soľnej a sírovej

Použitie:

- samomazné ložiská,
- ozubené kolesá,
- rúrky pre vedenia olejov a palivá
- športové potreby a potreby pre domácnosť,
- textilné vlákna – silon, nylon



Obrázok 50 Polyamidové predmety. (zdroj, http://www.bronzmetal.com.tr/02_12.asp)

REAKTOPLASTY

Polyuretán PU

Vlastnosti:

- má dobré mechanické a fyzikálne vlastnosti
- je odolný proti poveternostným vplyvom
- odoláva vodným roztokom solí a niektorým rozpúšťadlám
- neodoláva acetónu a kyselinám

Použitie:

- výroba syntetických vlákien,
- výroba lepidiel, ozubených kolies,
- výroba skrutiek, obuvi, nástrojov pre chirurgiu a stomatológiu,
- ľahčený polyuretán pre výrobu molitanu
- v stavebníctve - peny pre utesňovanie rámov okien



Obrázok 51 Výrobky z polyuretánu. (zdroj, <http://www.tenart.cz/kategoria/technicke-plasty/polyuretan-pur/polyuretan-pur/>)

Fenolformaldehyd PF

Vlastnosti:

- Je tvrdý a krehký - preto sa používa v kombinácii s rôznymi plnivami
- Odoláva rozpúšťadlám a teplotám do 120 °C

Použitie:

- s drevenou múčkou - (bakelit) na elektroizolačné súčiastky (svorkovnice, zásuvky), na držadlá žehličiek a pod.
- s azbestom - na elektrosúčiastky do teploty 150 °C
- s vrstveným papierom - (umakart) panely a konštrukčné časti elektroprístrojov
- s bavlnenou tkaninou - (textgumoid) na výrobu ozubených kolies (obrábaním z dosiek) a na klzné ložiská pre veľké zaťaženia.



Obrázok 52 Fenolformaldehýdové výrobky. (zdroj, <http://www.technicke-plasty.cz/textilit>)

Močovinoformaldehyd UF

Vlastnosti:

- veľmi nasiakavý a zdravotne nezávadný
- Odoláva teplotám do 90 °C

Použitie:

- na výrobu misiek, tanierov, šálok a pod.
- v textilnom priemysle na impregnáciu textíliou
- ako dosky k obkladu stien

Epoxidy

Vlastnosti:

- majú vysokú chemickú odolnosť,
- stálosť rozmerov,
- pružnosť, tvrdosť,
- nestarnú.
- odolávajú teplotám do 120 °C

Použitie:

- ako lepidlá na lepenie kovov, keramiky a skla
- ako liace hmoty v elektrotechnike na zalievanie cievok alebo kondenzátorov,

- v strojárstve k výrobe lisovacích nástrojov a modelov.
- epoxidové sklenené lamináty majú pevnosť až 320 MPa a používajú sa na potrubie, rotory ventilátorov v letectve a raketovej technike.

ELASTOMÉRY

Elastomér je prírodný alebo syntetický polymérny materiál, ktorý pozostáva z **dlhých lineárnych makromolekulových reťazcov** náhodne usporiadaných do prepletených kĺbiek. Je veľmi elastický a má teplotu prechodu do sklovitého stavu nižšiu ako 20 stupňov Celzia. Inými slovami elastomér je súhrnné označenie pre kaučuky a kaučukom podobné látky. Pri vysokých teplotách nestrácajú elastické vlastnosti. Pri nízkych teplotách sa správajú elasticky ako oceľ, pri veľmi nízkych sú tvrdé ako sklo. Po uvoľnení napätia sa vracajú do pôvodnej formy (kaučuk, guma).

Elastoméry sú materiály, ktoré môžu byť pri použití relatívne malej sily veľmi rozťažné. Vďaka ich štruktúre majú elastoméry vysokú elasticosť a pružnosť, čo znamená, že konečná deformácia je veľmi malá. Existujú dve hlavné skupiny elastomérov:

- termoplastické elastoméry.
- materiály s krížovými chemickými väzbami (gumové materiály)

Termoplastické elastoméry (napr. TPU, TPE, ...) predstavujú charakteristické vlastnosti elastomérov v širokom rozsahu teplôt. Sú krížovo previazané fyzikálne, ale nie chemicky a preto môžu byť tavené pri vyšších teplotách a môžu byť spracované bežnými metódami pre spracovanie termoplastov. Termoplastické elastoméry sú rozpustné a v porovnaní s ich obdobami s krížovými chemickými väzbami sa obecné rozpínajú menej.

Gumové materiály, alebo elastoméry (napr. NBR, FPM, EPDM, ...) sú polyméry, ktoré sú vytvárané krížovo viazanými makromolekulami a obsahujú rôzne vulkanizačné aditíva. Vďaka ich chemickým krížovým väzbám nie sú tavné a pri vyšších teplotách sa začínajú rozpadávať. Krížové väzby ďalej zaisťujú, že sa gumové materiály nerozpúšťajú a v závislosti na médiu prekonávajú viac-menej intenzívne rozpínanie alebo zmršťovanie.

Silikónový kaučuk

Vlastnosti

- je pružný od -60 do + 200 °C
- vulkanizáciou sa zlepšujú vlastnosti kaučuku ako pevnosť v ťahu, vratná deformácia rozpustnosť

Použitie

- hodí sa na izolácie káblov v baniach a zariadeniach s nebezpečenstvom požiaru
- používa sa na tesnenie pri vysokých aj nízkych teplotách,
- výroba modelárskych foriem

Syntetický kaučuk

Odstraňuje nevýhody prírodných kaučukov.

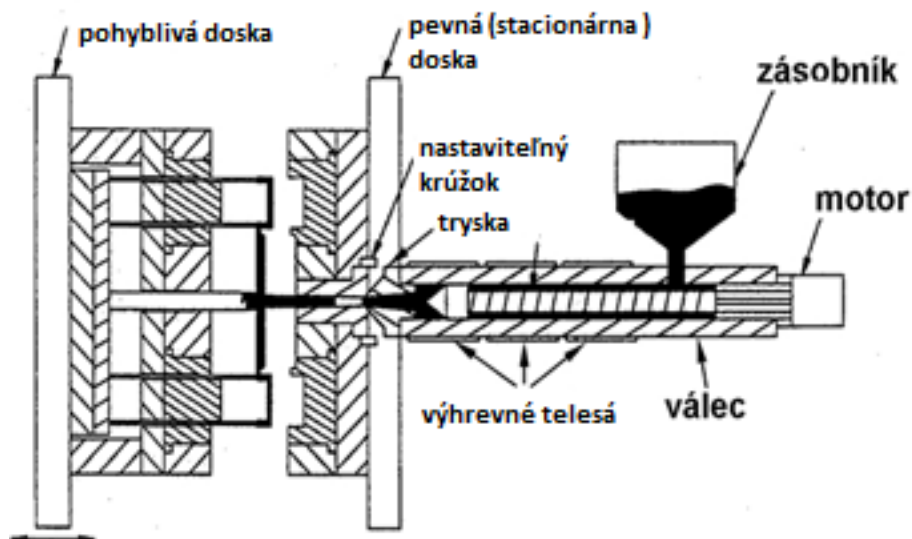
Požíva sa na výrobu pneumatík, hadíc, tesniacich krúžkov (gufero), dopravníkových pásov, povlakovanie oceľových súčastí a pod.



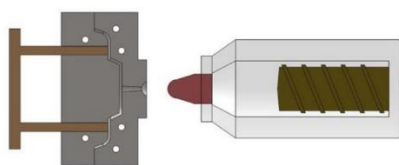
Obrázok 53 Výrobky z prírodného a syntetického kaučuku. (zdroj, <http://www.chtf.stuba.sk/ktrp/asfalt/>)

SPRACOVANIE PLASTOV

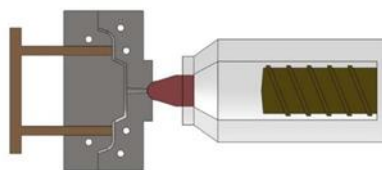
Vstrekovanie - je jedna z najpoužívanějších technológií (obrázok 40, 41), nielen v priemyselnej výrobe finálnych dielov, ale aj pri výrobe polotovarov pre ďalšie spracovanie. Výhodou je možnosť zhotovenia veľmi členitých tvarov a spracovateľnosť materiálov zo skupín termoplastov a reaktoplastov.



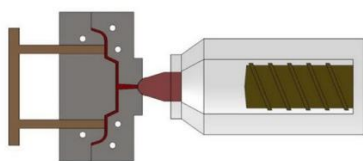
Obrázok 54 Injekčné vstrekovanie (zdroj <http://www.strojarskatechnologia.info/24-spracovanie-plastov/>)



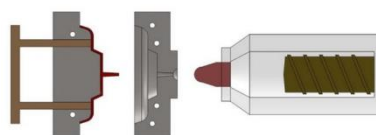
a) uzavretie formy



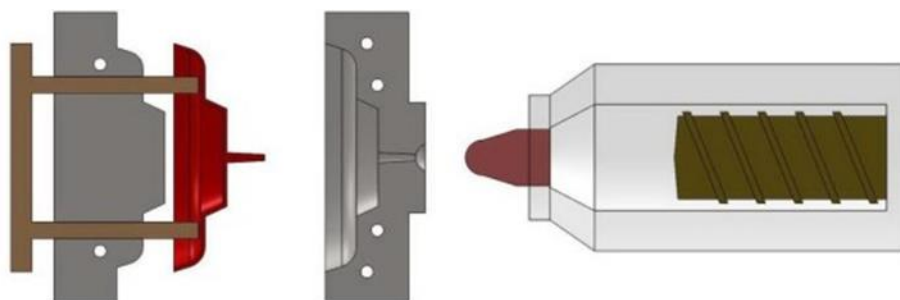
b) nasunutie trysky



c) vstrek do formy



d) otvorenie formy



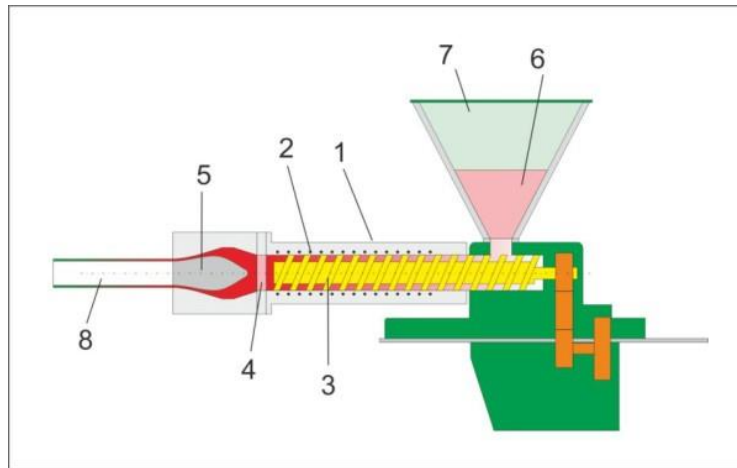
e) vyhodenie výlisku

Obrázok 55 Technologický schéma postupu práce na vstrekovacom lise (zdroj, <http://ok1zed.sweb.cz/s/01-machine-tech/plast.htm>)

Valcovanie - najčastejšie využitie pri výrobe pásov fólie s hrúbkou 0,17 - niekoľko mm. Spracovanie prebieha na strojoch – kalandroch, ktoré majú najčastejšie 4 otočné valce. Do štrbín medzi prvé dva valce sa dávkuje materiál, druhé dva zaisťujú rovnomernú hrúbku.

Vyfukovanie - je veľmi zaujímavá produktívna technológia využívaná najmä pre výrobu fliaš, nádržíek a podobných dielov. Vyfukovanie prebieha za pomerne vysokej teploty, ale nízkeho pretlaku.

Vytlačanie - výroba konkrétnych polotovarov, najčastejšie: dosky, profily, drôty a rúrky s konštantným prierezom. Vlastná technológia sa vykonáva na vytlačovacích strojoch čiže extrudéroch. Extrudér sa skladá z pevného rámu, v ktorom je vsadený slimák. Vo vnútri sa zohriaty granulát otáčaním slimáka vytláča cez tvarovací nástavec s jadrom. Po výstupe z tvarovacieho jadra je polotovar kalibrovaný na požadovaný rozmer a následne je chladený (obrázok 42).



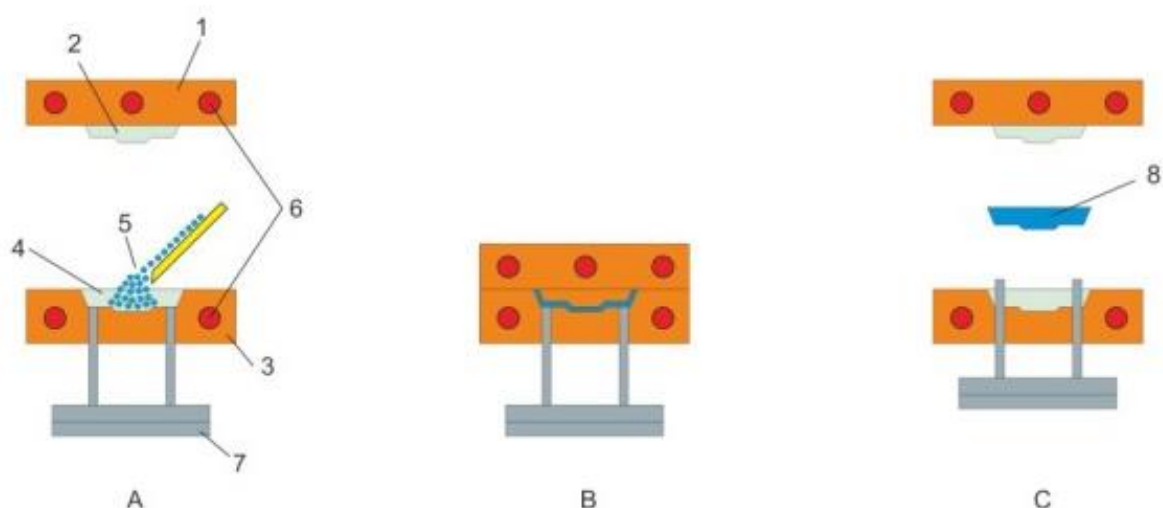
Obrázok 56 Tvárnenie vytlačáním. 1 – plastifikačný valec, 2 – výhrevný systém, 3 – oceľový slimák, 4 – usmerňovacie sito, 5 – jadro, 6 – sypký materiál, 7 – násypka, 8 - výrobok (zdroj, <http://ok1zed.sweb.cz/s/01-machine-tech/plast.htm>)

Spekanie - výroba z práškov ťažko tavitelných materiálov. Prášok voľne nasypaný do formy alebo ľahko zlisovaný sa zahrieva, zvyčajne v ochrannej atmosfére až do spekania. Hotové výrobky obsahujú určité percento pórov. Pre niektoré dôležité termoplasty je to vlastne jediná metóda spracovania.

Vírivé nanášanie - Vírivé nanášanie sa používa predovšetkým pre kovové materiály. Diel, ktorý sa má potiahnuť plastom sa zahreje na sintrovaciu teplotu plastu a ponorí sa do nádoby, v ktorej sa nachádza prášok plastu. Uvedením do vírenia sa prášok usadzuje na ohriatom plaste a vytvára postupne izolačnú vrstvu. Používa sa predovšetkým ako antikoročná alebo klzná, prípadne izolačná úprava.

Nanášanie práškoveho plastu plameňom - najčastejšia príprava antikoročných vrstiev. Do plynového horáka sa spolu so vzduchom fúka prach vhodného termoplastu, v plameni sa nataví a naráža na nanášaný predmet. Použitý termoplast je viac tepelne a oxidačne namáhaný, napriek tomu niektoré polyméry znášajú záťaž veľmi dobre a dokonca dobre priľnú aj na nekovové materiály ako je napr. drevo alebo papierová lepenka.

Lisovanie reaktoplastov - je jednou z najstarších metód spracovania plastov. Do otvorenej oceľovej formy (A), ktorá je pomocou vykurovacej sústavy (6) zahriata na teplotu 140 °C až 170 °C sa vloží presne definované množstvo lisovacej hmoty (5). Forma sa uzavrie a dochádza k tvarovaniu hmoty (B). Po vytvrdnutí hmoty sa forma otvorí a výlisok (8) je z formy vyňatý (C). Tento cyklus sa následne opakuje. Podľa sily steny výlisoku je úmerná aj doba jedného cyklu, ktorý môže trvať až 10 minút - obrázok 57.



Obrázok 57 Tvárnenie plastických látok lisovaním. 1 - horný diel formy, 2- forma (tvárník), 3 – spodný diel formy, 4 – tvárnica, 5 – surový materiál, 6 – vyhrievacia sústava, 7 – vyhadzovací mechanizmus, 8 – výlisok (zdroj, <http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2009/10/POLYMERY-Po-RECENZII.pdf>)

3.2 Vlastnosti polymérnych materiálov a ich skúšanie

Polymérne materiály predstavujú skupinu materiálov s rozmanitými vlastnosťami, mnohokrát špecifickými, líšiacimi sa od ostatných klasických materiálov (drevo, kovy a pod.). Tieto špecifiká si preto vyžadujú aj zvláštny prístup k testovaniu vlastností polymérov a úpravu, resp. vývoj nových skúšobných postupov – noriem. Proces kontroly kvality a hodnotenia vlastností výrobkov a materiálov sa nazýva skúšobníctvo a je neodmysliteľnou súčasťou každej tovarovej výroby.

Príprava vzoriek tvorí veľmi dôležitú súčasť každej testovacej metódy pre polymérne materiály. Precízny a presne definovaný postup prípravy vzoriek polymérov a kompozitných materiálov je dôležitý, lebo väčšina fyzikálnych a mechanických vlastností týchto materiálov významne závisí od spôsobu ich prípravy. Rôzny časovo teplotný režim ohrievania a chladenia, lisovací tlak, typ atmosféry (vzduch - inert) môže počas prípravy vzorky významne ovplyvňovať jej konečné vlastnosti.

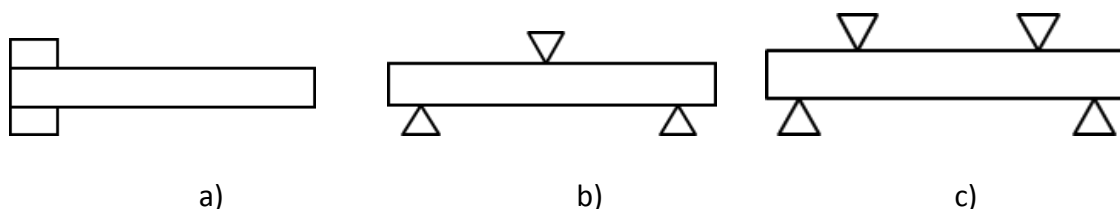
K najdôležitejším parametrom, ktoré udávajú fyzikálne vlastnosti plastov sú **stupeň kryštalinity**, **teplota sklovitého prechodu T_g** a **obsah dutín vo vzorke**, ktoré môžu vzniknúť počas prípravy skúšobného telesa.

Ďalším závažným faktorom, ktorý treba brať do úvahy pri stanovovaní podmienok prípravy vzoriek, je obsah prchavých podielov v polymérnom materiáli. Vzorky z plastov sa často pripravujú z granulátov, ktoré sa v procese prípravy vzorky tavia a tlakom sa tvarujú do požadovaného tvaru (lisovanie, vstrekovanie, vytlačanie a pod.). Pokiaľ základný materiál obsahuje prchavé látky (najčastejšie vlhkosť, alebo uzavretý vzduch), po roztavení plastu v uzavretom priestore a pod tlakom nemôžu vodné pary alebo vzduch z viskózne taveniny polyméru uniknúť a po následnom ochladení zostávajú v pripravenej vzorke ako „bubliny“, ktoré skresľujú výsledky merania.

3.2.1 Mechanické vlastnosti polymérov

Najčastejšie sa v materiáloch, polyméry nevynímajúc, určujú mechanické vlastnosti. Podstatou mechanických skúšok je zisťovanie, ako pôsobí mechanická sila na skúšaný materiál. Podľa typu pôsobenia sily sa skúšky delia na skúšky:

- **v ťahu** - princíp skúšky ťahom je veľmi jednoduchý, na skúšobné teleso sa pôsobí silou v ťahu až do jeho roztrhnutia, pričom sa sníma sila a deformácia (v prípade ťahu predĺženie) v rôznych štádiách skúšky. Základné parametre, ktoré sa pri skúške ťahom merajú, sú pevnosť, predĺženie pri pretrhnutí, avšak nie pre všetky polyméry majú tieto parametre rovnaký význam. Značné rozdiely možno pri ťahových skúškach pozorovať v závislosti od charakteru polyméru (plasty, kaučuky, kompozity a pod.).
- **v ohybe** - meranie pevnosti v ohybe pre tuhé plasty je skoro tak bežné ako skúšky ťahom. Skúšky ohybom sú takisto časté pre tvrdé penové materiály, avšak flexibilné penové materiály a guma nie sú dostatočne tuhé, aby boli vhodné pre skúšky ohybom. Pri ohybových testoch môže byť teleso upevnené ako jednoduchá konzola (a), prípadne ako trojbodové (b) alebo štvorbodové (c) usporiadanie (obrázok 57)



Obrázok 58 Základné možnosti experimentálneho usporiadania pri skúške ohybom
<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2009/10/POLYMERY-Po-RECENZII.pdf>

- **v tlaku**
- **v šmyku**

Pretože polymérne materiály sú veľmi variabilné v chemickom aj v morfológickom zložení, nie je možné určiť pre všetky materiály jednotné podmienky, pri ktorých sa majú skúšky uskutočňovať a príslušné normy obyčajne upravujú tieto podmienky len rámcovo.

Spôsoby merania tvrdosti plastov

Meranie tvrdosti polymérnych materiálov má svoje odlišnosti oproti meraniu tvrdosti tradičných materiálov, ako sú napr. kovy, ktoré vykazujú typickú plastickú deformáciu. Keďže polyméry, najmä kaučuky (guma) vykazujú značný podiel elastickej deformácie, nie sú tradičné metódy merania tvrdosti pre tieto materiály vhodné.

Skúšky tvrdosti polymérnych materiálov sa teda vyvinuli nie ako povrchové skúšky, ale ako skúšky odporu celého objemu materiálu proti vtlačovaniu tvrdých telies definovaných tvarov. Pri takomto ponímaní je tvrdosť vyjadrením tuhosti materiálu a pri niektorých metódach sa dosahuje pomerne dobrá korelácia s modulom pružnosti. Tvrdosť polymérnych materiálov sa stanovuje najmä v takých prípadoch, kedy zloženie polymérnej zmesi umožňuje širokú variabilitu v elastickej chovaní hotového výrobku (najmä guma, ale aj plasty, ako napríklad mäkké PVC, EVA kopolyméry a pod.).

Na stanovenie tvrdosti plastov sú v sústave STN platné tieto normy :

- **STN 64 0128 Skúšky tuhých nekovových materiálov - tvrdosť podľa Brinella.**

Táto metóda merania tvrdosti vychádza z princípu merania tvrdosti kovov, kde sa tvrdosť kovu posudzuje na základe odporu materiálu voči vtlačaniu guľôčky. Oproti pôvodnej skúšobnej metóde pre kovy boli pre aplikáciu na polymérne materiály zväčšené priemery guľôčok a bola znížená sila pri ich vtlačovaní.

- **STN ISO 868 (64 0129) Plasty a ebonit. Stanovenie tvrdosti tvrdomerom - tvrdosť podľa Shora.**

Stupnica Shore je snáď najpoužívannejšia pre meranie tvrdosti polymérnych materiálov. Princíp merania spočíva v tom, že trň tvrdomeru sa vtlača do povrchu skúšobného telesa, pričom hĺbka vnorenia trňa do povrchu je priamo na tvrdomeri odčítavaná v stupňoch Shore. Uvedená norma uvádza dve metódy merania tvrdosti Shore, ktoré sa odlišujú v geometrii vtlačaného trňa. Vtláčaný trň pre metódu Shore A má tvar zrezaného kužela s uhlom 35° a priemerom plochej časti 0.79 mm. Stupnica Shore A má rozsah od 0 do 100.

Dlhodobé skúšky mechanických vlastností polymérov

Výrobky z polymérnych materiálov sú však mnohokrát počas svojho používania vystavované dlhodobému pôsobeniu sily, ktorá môže mať aj pri relatívne nízkych hodnotách vplyv na zmeny v samotnej štruktúre polymérneho materiálu (napr. studený tok pre plasty), ako aj vplyv na zmeny celkových rozmerov výrobku (napr. trvalá deformácia gumových výrobkov). Dlhodobé skúšky polymérnych materiálov opäť zohľadňujú špecifiká oboch typov polymérnych materiálov, t. j. plastov a gumi.

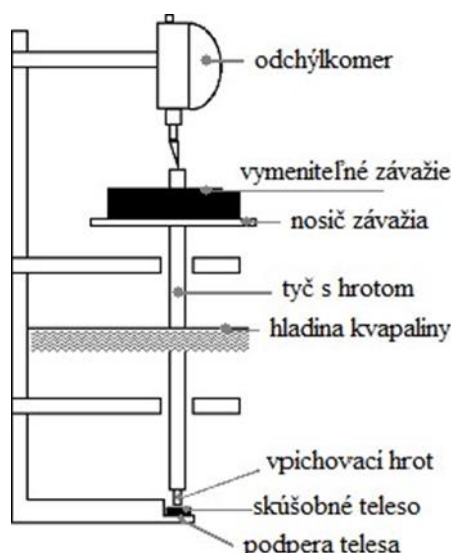
Pre plasty sú charakteristické dva typy skúšok - tzv. **kríp a relaxačná skúška**. V oboch prípadoch sa skúma časová závislosť. Pri krípovej skúške sa skúšobné teleso zaťaží konštantnou silou a sleduje sa zmena deformácie v čase. Pri relaxačnej skúške naopak, teleso sa uvedie do stavu konštantnej deformácie a sleduje sa zmena napätia v čase. Oba typy skúšok majú svoj praktický význam, avšak v sústave STN je uvedená len krípová skúška, pre ktorú platí norma:

STN 64 0621 (Skúšanie Plastov. Skúška tečenia pri namáhaní v ťahu.).

Odolnosť polymérov voči nízkym a vysokým teplotám

Odolnosť plastov voči nízkym a vysokým teplotám je z hľadiska ich aplikácie jedna z najdôležitejších charakteristík. Plasty majú svoje špecifické teplotné rozmedzia, kedy si zachovávajú úžitkové vlastnosti, či už krátkodobo alebo dlhodobo. Zmeny v štruktúre a vlastnostiach plastov, okrem zmien v dôsledku degradačných procesov pri vysokých teplotách súvisia, najmä s kryštalinitou polymérov a rozdielnym bodom topenia kryštalickej a amorfnej fázy polyméru. Predmetom skúšania plastov pri vysokých teplotách sú vonkajšie prejavy týchto zmien. Pre plasty existuje niekoľko skúšobných metód, ktoré sú zahrnuté v normovaných skúškach.

- **Stanovenie teploty mäknutia podľa Vicata (VST)** - účelom skúšky je určiť, pri akej teplote dochádza z poznateľnému zmäknutiu materiálu.



Obrázok 59 Usporiadanie skúšky na určenie teploty mäknutia podľa Vicata (zdroj, Liptáková, T., Alexy, P., Gondár, E., Khunová, V., Polymérne konštrukčné materiály, 2012)

Odolnosť plastov voči nízkym teplotám

Druhý teplotný extrém pri aplikácii plastov sú nízke teploty. Pri poklese teploty pod T_g sa stáva polymér **krhkým a náchylným na mechanické poškodenie**, najmä nárazom a ohybom. Pre testovanie odolnosti plastov voči nízkym teplotám sú v STN zavedené dve normy. Jednou z nich je STN 64 0617 Skúšanie plastov. Určenie odolnosti plastov proti nízkym teplotám.

Odolnosť plastov voči nízkym teplotám je definovaná ako najnižšia teplota, pri ktorej je skúšobné teleso schopné odolávať predpísanému mechanickému namáhaniu bez poškodenia. Norma predpisuje dve metódy skúšania:

metódu A – skúšobné teleso sa pri danej teplote ohne o 180° a výsledok skúšky sa hodnotí vizuálnym pozorovaním defektov na skúšobnom telese. Vzorka sa považuje za neporušenú, ak pri danej teplote zostane neporušených 9 telies z 10.

metódu B - skúšobné teleso v tvare pásika sa upne do držiaka prístroja do tvaru slučky, ktorá sa deformuje prevlečením cez zúžený otvor - prstenec. Táto metóda okrem optického hodnotenia telesa umožňuje určiť aj prácu potrebnú na prevlečenie slučky zúženým otvorom.

Degradácia a korózia polymérov

Polymérne materiály (prírodné polyméry nevynímajúc) sú snáď najcitlivejšie materiály na zmeny v chemickej štruktúre vplyvom vonkajších podmienok a z toho vyplývajúce zmeny najmä vo fyzikálno-mechanických a chemických vlastnostiach. Najvýznamnejšími faktormi, ktoré spúšťajú reťazový mechanizmus chemických zmien v polymérnom materiály sú:

- UV žiarenie,
- teplo,
- prítomnosť kyslíka, najmä ozónu.

K urýchleniu chemických degradačných procesov obyčajne prispieva i mechanické namáhanie a prípadne prítomnosť chemikálií, najmä organických rozpúšťadiel.

Testovanie degradácie polymérnych materiálov, všeobecne zaužívané pod termínom starnutie polymérov, patrí k najdôležitejším skúškam z hľadiska odhadu životnosti polymérneho výrobku. Skúšky starnutia sa môžu realizovať buď v **reálnych podmienkach** používania polyméru v konkrétnej aplikácii, alebo sa využívajú **umelé podmienky** urýchleného starnutia. Metódy urýchleného starnutia poskytujú podstatne rýchlejšie výsledky skúšky ako skúšky prirodzeného starnutia, pretože mnohokrát nie je možné skúšky prirodzeného starnutia realizovať, najmä z časových dôvodov.

3.3 Kaučuky a gummy

Kaučuky a gummy (polyméry amorfné alebo s obmedzenými priečnymi väzbami) reprezentujú rozsiahlu skupinu technických polymérnych materiálov, ktoré sa pre vynikajúcu pružnosť označujú aj ako elastoméry. Kaučuk je jedným zo základných komponentov pri výrobe gummy, avšak ako kaučuk, tak aj guma sa používajú vo forme prírodnej aj syntetickej. Hlavný rozdiel medzi prírodným a syntetickým kaučukom je v technológii ich výroby. U prírodného kaučuku je výrobný proces uskutočňovaný prírodou vo vnútri stromu, pričom kaučukovník je pestovaný minimálne 6 rokov, pokiaľ začne produkovať surový kaučuk.



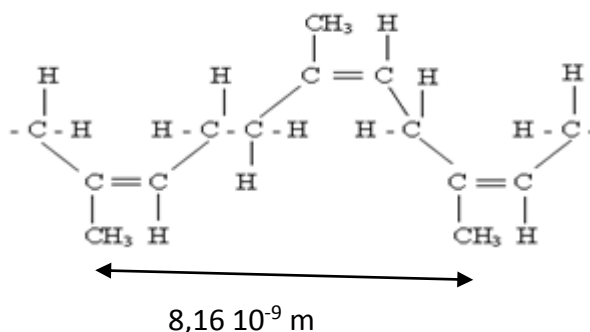
Obrázok 60 Získavanie prírodného kaučuku (zdroj, <http://www.quote.cz/slovník/1639-kaučuk>)

Prírodný kaučuk (skratka NR) je nezosietený, ale sieťovateľný (vulkanizovateľný) amorfný polymér izoprénu s vysokoelastickými vlastnosťami pri normálnej teplote a za určitých podmienok aj nad touto teplotou. Získava sa zo šťavy kaučukovníkových stromov tropického pásma - latexu a obsahuje približne 60 - 65 % vody, 30 - 35 % kaučuku, 2,5 % bielkovín, 1 - 1,5 % soli a 1,0 % živice. Chemická analýza potvrdila, že prírodný kaučuk je uhľovodík, pričom jeho makromolekula je lineárna a je tvorená štruktúrnymi jednotkami izoprénu s polymerizačným stupňom 6000 a viac.

Z tropického stromu kaučukovníka brazílskeho sa narezávaním jeho kôry získava surový kaučuk (latex). Ten sa upravuje zrážaním napr. kyselinou mravčou, perie vodou a vysuší na materiál zvaný krepa (prírodný nevulkanizovaný kaučuk). Jeho ďalšími úpravami (prídavkom plnív, ďalších aditív a vulkanizáciou) sa vyrába guma.

Pri vulkanizácii sa za zvýšených teplôt a v prítomnosti síry (mäkké gummy – 3 až 5 % , tvrdé gummy – ebonity až 30 %) vytvoria priečne kovalentné väzby prostredníctvom sírnych

môstikov, vplyvom ktorých sa zvýši tuhosť, pevnosť a pružnosť. Účinkom napätí sa v dôsledku preskupovania molekúl môže dosiahnuť určitý stupeň kryštalinity a tvrdosť aj pevnosť gumy sa zvýši; táto priaznivá zmena zvyšuje odolnosť proti opotrebeniu.



Obrázok 61 Usporiadanie a rozmer makromolekuly prírodného kaučuku (zdroj, <http://www.e-chembook.eu/cs/synteticke-makromolekularni-latky>)

Výroba **syntetického kaučuku** začína vždy výrobou **monomérov**, najčastejšie z petrochemických surovín, potom nasleduje ich **polymerizácia**. Od tohto okamžiku je technológia výroby pre prírodné aj syntetické kaučuky podobná - majú formu vodnej suspenzie kaučukových častíc (latexu).

Špeciálne druhy **syntetických kaučukov** majú výhodnejšie úžitkové vlastnosti než prírodný kaučuk. Hoci ich výroba sa začala zo strategických dôvodov, dnes sa priemyselne vyrába a používa veľké množstvo syntetických kaučukov, ktoré sa líšia napr. druhom monomérov, ich chemickým zložením, makroštruktúrou i mikroštruktúrou a v rámci jednotlivých (pod)skupín viskozitou, množstvom monoméru, spôsobom prípravy a pod. Veľký počet rôznych druhov priemyselne vyrábaných kaučukov si vynútil ich klasifikáciu. Väčšinou pomerne dlhé názvy zase viedli k častému používaniu skratiek. Medzinárodné skratky vychádzajú z triedenia kaučukov do 8 základných skupín podľa chemickej štruktúry. Táto klasifikácia však nemá priamu súvislosť s hlavnými oblasťami použitia kaučukov, podľa ktorých ich môžeme rozdeliť na:

- **kaučuky na všeobecné použitie** - uvedené označenie má táto skupina kaučukov preto, že sa z nich dá vyrábať väčšina bežných gumených výrobkov, od rôznych dielov technickej gumy cez spotrebný tovar až po pneumatiky, hadice a dopravné pásy. Hlavnými predstaviteľmi sú polyméry a kopolyméry izoprénu a butadiénu. Najbežnejším plnivom pre ne sú sadze. Obsahujú v hlavných reťazcoch svojich makromolekúl dvojité väzby, sú teda nenasýtené. Preto k ich vulkanizácii najčastejšie používame síru. Pre ilustráciu uvádzame niektoré z nich:

- butadién – styrenový kaučuk (SBR) surovinou na jeho výrobu je ropa
- butadiénový kaučuk (BR)
- Izoprénový kaučuk (IR)

- **kaučuky na špeciálne využitie**

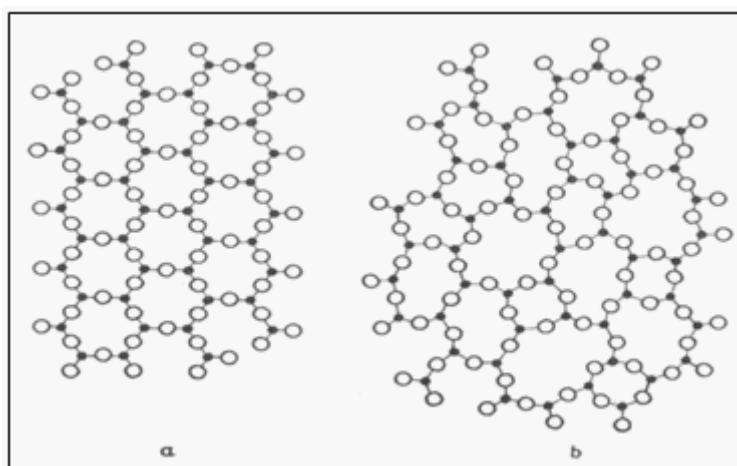
- Etylénpropylénové kaučuky (EPM, EPDM)
- Butylkaučuky (IIR)
- Olejovzdorné kaučuky
- Chlóroprénové kaučuky (CR)
- Butadién - akrylonitrilové kaučuky (NBR)
- Akrylátové kaučuky (ACM)
- Polysulfidové kaučuky

Aj keď môžu mať rôzne obchodné názvy, skratky a čísla, vždy musí byť zachované ich označenie podľa ISO a ASTM.

Výrobca je dokonca povinný ku každému typu dodať materiálový list s presnou charakteristikou výrobku, technicko-preberacími podmienkami skladovania a manipulácie, ako i bezpečnostný list s charakteristikou zdravotnej nezávadnosti.

3.4 Sklo

V najširšom zmysle je sklo spoločný termín pre neobmedzený rad materiálov rozdielneho zloženia v sklenenom stave. Užšia charakteristika skla je nasledovná: sklo je anorganický amorfný (nekryštalický) materiál, vyrobený tavením vhodných surovín a následným riadeným ochladzovaním vzniknutej skloviny bez kryštalizácie. Vzniká plynulým prechodom zo stavu kvapalného do stavu pevného, a pri ochladzovaní skla dochádza k plynulému rastu viskozity až na tak vysokú hodnotu, že sa materiál navonok javí ako pevná látka. Na rozdiel od kryštalických látok, štruktúra skla je bez pravidelných, symetrických a periodicky usporiadaných základných stavebných jednotiek na dlhšiu vzdialenosť (viď. obrázok 60).



Obrázok 62 Štruktúra skla, rozdiely medzi štruktúrou: a) kryštalického SiO_2 (kremeňa), b) skleneného SiO_2 (skla). <http://www.sklarskauniverzita.sk/2013/12/april-2013-zakladne-informacie-o-skle/>)

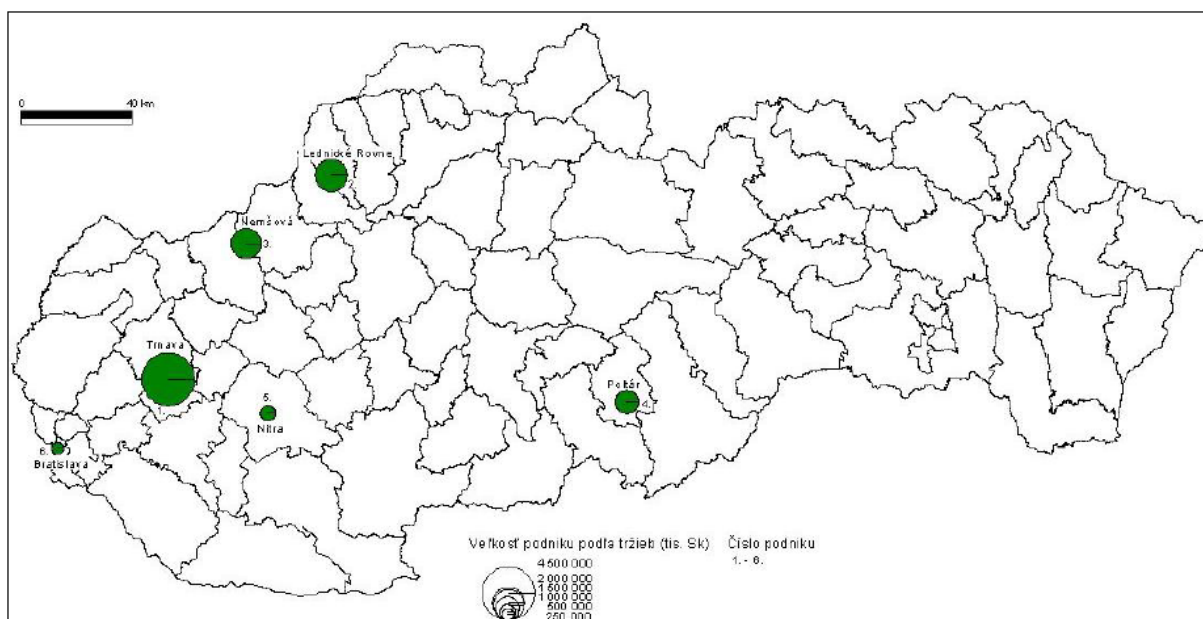
Sklo je veľmi zaujímavý materiál, ktorý sa v prírode v čistej forme nevyskytuje, vyrába sa však z prírodných surovín. V prírode existujú nerasty, ktoré sa mu vonkajším vzhľadom podobajú: napríklad **sopečný obsidián**, **horský kryštál**, niektoré **formy kremeňa**, ktoré sú pomerne vzácne a v minulosti sa používali hlavne na výrobu šperkov. Zatiaľ čo iné nerasty, ktoré sa od praveku využívali – drevo, kameň, hrnčiarska hlina, rudy, kovy sa v prírode vyskytujú, sklo sa muselo najprv vyrobiť a až potom opracovávať. V tom je jeho jedinečnosť, lebo je považované za **najstaršiu vyrábanú hmotu v dejinách ľudstva**.

3.4.1 História výroby skla

Objav výroby skla sa datuje do doby bronzovej (3. tisícročia pred našim letopočtom). Prvými výrobkami zo skla boli koráliky. Najstaršie sklenené nádoby, ktoré boli nájdené, pochádzajú z Egypta, ich sklo je však nepriehľadné a len nevýrazne sfarbené. Majú takmer 4000 rokov. Výroba skla v starovekých krajinách sa pravdaže veľmi odlišovala od dnešnej. Tavenina skloviny sa nechala vychladnúť a jej črepy sa spracúvali lámaním, brúsením a leštením. Tak sa vyrábali sklené šperky.

Asi pred 2 000 rokmi sa u starých Feničanov objavuje **sklárska píšťala** a s ňou nový spôsob výroby dutých predmetov – **fúkanie skla**. Skláři zostali sklárskej píšťale verní dodnes. Je to kovová, železná alebo mosadzná rúrka, dlhá asi jeden a pol metra. Sklár si na píšťalu naberie z pece trochu skloviny a opatrne do nej fúka. Sklo sa vydúva do bubliny a z nej sa pomocou rôznych nástrojov a foriem urobí fľaša, pohár, váza, tienidlo na svietidlo, a pod. Sklárska píšťala bol prevratný vynález, ktorý umožnil rýchlu a lacnú výrobu nových druhov sklenených nádob.

V 6. storočí, na Slovensku (ktoré bolo vtedy súčasťou Uhorska) vznikali prvé sklárske huty. V priebehu týchto niekoľkých storočí vzniklo viac ako 100 sklárskych hút, ktoré využívali drevo z našich (bukových) lesov na výrobu skla. Krajina poskytovala okrem štedrých lesov aj iné benefity – elitný kremeň a rýchlu vodu. Sklárne teda vznikali najmä tam, kde bolo dostatok týchto prírodných zdrojov, ľudský um a zručnosť.



Obrázok 63 Sklárske huty na Slovensku (zdroj, <http://www.sklarskauniversita.sk/2013/12/april-2013-zakladne-informacie-o-skle/>)

Sklárske suroviny rozdeľujeme do dvoch základných skupín:

1) základné sklárske suroviny:

- oxid kremičitý – sklársky piesok,

- uhličitan sodný – sóda,
- uhličitan draselný – potaš,
- uhličitan vápenatý – vápenec,
- kremičitan sodno-draselno-hlinitý – živec,
- sklenené črepy.

2) pomocné sklárske suroviny:

- síran sodný – sulfát,
- fluorid vápenatý – kazivec,
- ortoolovičitan olovnatý – mýnium,
- farbivá – oxid chromitý, uhlík (tuha), oxid kobaltnatý,
- odfarbivá – dusičnan draselný, oxid kobaltnatý, seleničitan sodný,
- fluorohlinitan sodný – kryolit.

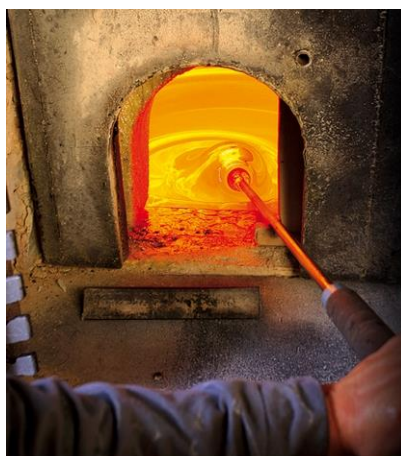
Suroviny pre sklársky priemysel sú všeobecne ľahko dostupné, relatívne neškodné prírodné alebo syntetické látky. So zaistením surovín nie sú žiadne veľké ekologické problémy a hladiny odpadov sú obyčajne veľmi nízke.

Sklo sa taví v sklárskych peciach (taviacich agregátoch), ktoré sú vybudované zo špeciálnych žiaruvzdorných materiálov (materiály znášajúce bez poškodenia alebo bez deformácie vysoké teploty) pri teplotách 1450 – 1550 °C, boritokremičité sklo pri teplote až 1630 °C a kremenné sklo okolo 2000 °C. Pece sú vyhrievané zemným plynom alebo elektrickou energiou a v niektorých prípadoch je využívaná aj ich kombinácia.

V zásade môžeme hovoriť iba o dvoch typoch taviacich pecí:

- panvové pece,
- vaňové pece.

Panvové pece - sú komorové pece, do ktorých sa vkladajú šamotové panvy a v nich sa taví sklo. Býva 1 – 14 paniev. Sú výhodné, lebo v nich možno taviť špeciálne sklá i rôzne farebné sklá.



Obrázok 64 Panvová pec (zdroj, <http://www.sklarskauniverzita.sk/2013/12/april-2013-zakladne-informacie-o-skle/>)

Vaňové pece - sú veľké nádrže na tavenie skloviny. Sú hospodárnejšie, lebo môžu pracovať takmer nepretržite. V súčasnosti sa využívajú najmä vaňové pece na výrobu rôzneho sklárskeho sortimentu – od úžitkového skla, cez technické, obalové, tabuľové sklo, až po špeciálne sklá.

Rozoznávame niekoľko druhov skla:

- **ľahko taviteľné sodnaté** – vhodné na fukanie
- **tvrdé draselné** – vhodné na rezanie a brúsenie,
- **mäkké olovnaté** – vhodné na liatie do foriem na výrobu optického skla
- **vodné (rozpuštné) sklo** - vodné sklo sa používalo alebo používa na impregnáciu papierových tkanín, na konzerváciu vajec, ako plnivo do mydiel, k ochrane a sanácii prírodného kameňa, ale najmä ako spojivo kyselinovzdorných tmelov žiaruvzdorných materiálov (napr. v kombinácii so šamotovou múčkou)

Sklo je, ako surovina pre výrobu, veľmi zaujímavý materiál. Roztavené sklo je tekuté a môže byť formované do takmer akéhokoľvek tvaru. Má vynikajúce vlastnosti:

- **mechanické** - je pevné, tvrdé a odolné proti poškriabaniu a odreniu,
- **chemické** - je odolné voči korózii a prakticky inertné,
- **optické** - môže odrážať, ohýbať, prenášať a pohlcovať svetlo a jeho čírosť je dostačujúca pre využitie vo výrobe okuliarov, mikroskopov, v astronómii, telekomunikáciách a elektronike,
- **tepelné** - je odolné voči teplotnému šoku a zlý vodič tepla, schopné odolávať náhlym zmenám teploty rovnako tak, ako extrémnemu teplu a zime. Je to jediný priehľadný materiál, ktorý nehorí, ani pri úniku jedovatých plynov, kedy je namáhané teplom,
- **elektrické** - je zlý vodič, ale je dobrým materiálom pre elektrickú izoláciu.

Tabuľka 6 Fyzikálne a mechanické vlastnosti skla (Hlaváč 1988 a Svoboda et al. 2004). Pozn.: pevnosť skiel všeobecne narastá so zvyšujúcim sa obsahom SiO_2 a klesajúcim Na_2O , výrazne závisí tiež na vlastnostiach povrchu, rozmeroch vzorky a vnútorných defektoch.

vlastnosť	jednotka	rozpätie hodnôt
hustota	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	2200 - 6000
pevnosť v tlaku	MPa	700 - 1200
pevnosť v ťahu	MPa	30 - 90
pevnosť v ohybe	MPa	40 - 190
modul pružnosti	GPa	50 - 90
súčiniteľ dĺžkovej teplotnej rozťažnosti	K^{-1}	$6\cdot 10^{-6}$ - $9\cdot 10^{-6}$
súčiniteľ tepelnej vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	0,6 - 0,9
merná tepelná kapacita	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	850 - 1000
Poissonov súčiniteľ	-	0,14 - 0,32
tvrdosť podľa Mohse	-	6 - 7
index lomu	-	1,5 - 2,25

Technológia výroby skla

Pri výrobe skla sa uplatňujú štyri čiastkové technologické procesy:

1. **Príprava vsádzky** - (sklárskeho kmeňa a prísad) a jej dávkovanie. Upravené, pomleté a vysušené suroviny sa miešajú a homogenizujú v požadovanom pomere v zmiešavacích zariadeniach. Miešanie je dnes vykonávané najčastejšie strojne v uzavretých miešadlách, tak, aby bolo zabránené prášeniu surovín.

2. **Tavenie skla** - sa vykonáva v sklárskych taviacich peciach, najčastejšie panvových alebo vaňových. Taviaci proces sa rozdeľuje na tri hlavné fázy:

- vlastné tavenie,
- čerenie a homogenizácia
- chladenie pre tvarovanie.

Pri taviacom procese sa dosahuje najčastejšie teplôt v rozmedzí 1400 - 1600 °C. Palivom je najčastejšie generátorový alebo zemný plyn.

3. **Tvarovanie skla** - pri tvarovaní sa využíva viskózna deformácia a silná závislosť viskozity skloviny na teplote. Počas tvarovanie nesmie dôjsť ku kryštalizácii skloviny. Tvarovanie sa vykonáva od ručných až po plne automatizované procesy:

- fúkaním,
- ťahaním,
- valcovaním,
- liatím,
- lisovaním,
- napeňovaním

4. **Chladenie skla** - sa vykonáva v špeciálnych chladiacich peciach, spravidla v teplotnom intervale 700 - 400 °C. Jedná sa o riadené chladenie, ktorým sa z výrobku odstráni alebo sa zabráni vzniku vnútorného pnutia. Chladením sa môže podstatne zvýšiť pevnosť skla. Po ochladení sa môže sklo povrchovo upravovať - brúsiť, leštiť, pieskovať, leptať.

Vyrobené sklo sa ďalej spracováva:

Fúkaním – fúkanie skla sa robí pomocou sklárskej píšťaly, na ktorej je na jednom jej konci drevené držadlo s mosadzným náustkom a na druhom konci je rozšírená kužeľovitá hlavica z ocele. Niektoré výrobky sa vyfukujú voľne, iné pomocou tvárnic a iného náradia. Tvárnice sú z bukového alebo hruškového dreva alebo liatiny. Vyfúknutá nádoba sa odklepne z píšťaly a dá sa do chladiacej pece. Po ochladení sa obrúsia ostré hrany alebo sa stavia.



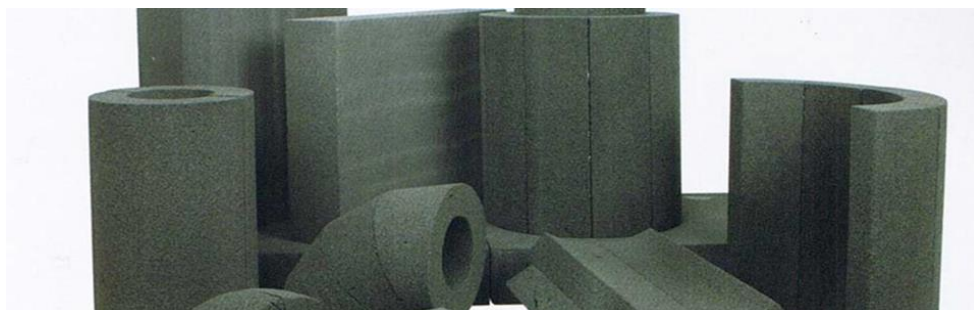
Obrázok 65 Fúkanie skla. (zdroj, <http://www.sklenynsen.sk/>)

Ťahaním- nepretržitým ťahaním sa vyrába tabuľové sklo. Ťahanie skla prebieha, buď vo vertikálnom alebo v horizontálnom smere. Pás sa vtiahne medzi azbestové valce, vytiahnuté sklo sa ochladí a rozreže. Rovnako sa robia tyče, rúrky a vlákna.

Lisovaním – lisovanie skla sa robí v ručných alebo v automatických lisoch v oceľových tvárniciach. Tvárnica má vlastnú formu, uzatvárací krúžok, drienko a lisovacie jadro. Sklovina natečie do tvárnice, potrebná časť sa odstrihne, tvárnica sa zasunie do lisu, vsunie sa do nej jadro a sklovina sa tak vylisuje. Hotový výrobok sa z tvárnice vyberie.

Liatím - liatím sa vyrába zrkadlové sklo, výkladné tabule, sklo s drôtenou vložkou a ornamentálne sklo. Do automatického stroja sa leje sklovina na hladkú liatinovú platňu a prevalcuje sa liatinovým vyhrievaným valcom. Používa sa plavenie skla, kedy sa sklovina leje na roztavený cín, a tak sa vyrobí úplne rovná tabuľa skla.

Napeňovaním - penové sklo je anorganický pórovitý materiál s tepelnoizolačnými vlastnosťami, ktorý má, na rozdiel od ostatných tepelnoizolačných materiálov, vysokú pevnosť v tlaku. Vyrába sa z nízkotaviteľnej skloviny, ktorá sa pri teplote asi 1000°C napeňuje vo formách vhodnými speňovadlami (napr. sadzami alebo uhlím, ktoré napeňujú sklovinu až na dvadsaťnásobok pôvodného objemu).



Obrázok 66 Tepelno- izolačný materiál – penové sklo. (zdroj, <http://www.alcomplet.sk/-pevne-sklo>)

Základné rozdelenie skla podľa výrobkov:

- **obalové sklo** - medzi obalové sklo sa všeobecne zaraďujú fľaše, konzervové sklo, drobný obal pre farmáciu a parfumériu ako i veľké obaly (demižóny). Takéto výrobky vyrábané historicky už oddávna viedli zvyšovaním životnej úrovne od ručnej výroby k výrobe poloautomatickej až k dnešnej plnoautomatickej výrobe.
- **ploché sklo** - ploché sklo je sklo plavené, pod pojmom zušľachtené ploché sklo sa rozumie ploché sklo upravené tak, že dostáva iné požadované vlastnosti. A to je predovšetkým požiadavka stavebníkov a automobilového priemyslu. Aktuálne je potrebné spomenúť izolačné sklá, (organická vrstva medzi dvoma tabuľami skla), smaltované sklá, reflexné sklo s titaničitou vrstvou.
- **úžitkové sklo** - pod pojmom úžitkové sklo rozumieme sklo, ktoré slúži ako sklo nápojové, sklo stolové v domácnostiach a v stravovacích zariadeniach, v hoteloch, dekoratívne sklo od bežného využitia až po umelecké sklo. Výroba takéhoto skla bola historicky ručným fúkaním sklárskou píšťalou, neskôr lisovaním a postupne sa vyvinuli najmodernejšie technológie tvarovania,
- **technické sklo** - vznik a rozvoj špecializovaných odborov v sklárskych odvetviach, rozvoj chémie, chemického priemyslu, potravinárskeho priemyslu, zdravotníctva viedol k vývoji nových skiel pod súhrnným názvom technické a laboratórne sklá. Základnou požiadavkou nových zákazníkov bola chemická odolnosť voči pôsobeniu najrôznejších roztokov, spravidla pri zvýšenej teplote - varné sklo (nesprávne zaužívané označenie „jenské sklo“).
- **sklené vlákno** - je vyrábané mechanickým ťahaním z platinových piecok, ktoré sú napojené priamo na taviaci agregát (jednostupňový proces). Vlákná sa ťahajú z trysiek elektrickej platinovej pece odporovo vyhrievanej a navíjajú sa na kokón. Textilne sa spracovávajú na priadzu a tkaniny. Ich využitie je vo forme priadze a tkanív ako izolácia v elektrochemickom priemysle a vo forme pramencov (rovingu), pramencových rohoží a tkanív k vystuženiu plastov (sklolamináty).

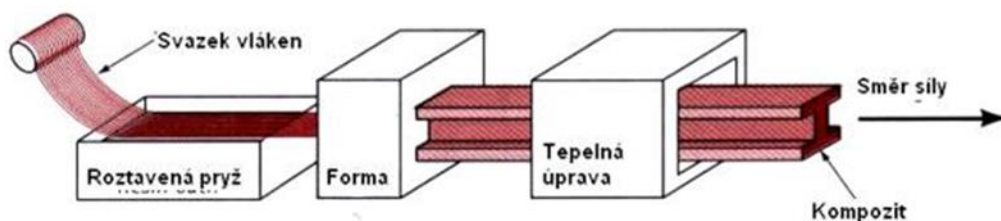
3.5 Kompozity

Kompozity sú materiály, ktoré sú zložené z dvoch alebo viacerých zložiek s výrazne odlišnými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Spojením týchto zložiek vznikne úplne nový materiál s unikátnymi vlastnosťami, ktoré nemôžu byť dosiahnuté ktoroukoľvek zložkou samostatne. Sú vývojovou skupinou materiálov pre vysoké namáhanie, najmä vtedy, keď sa požaduje jeho vysoká pružnosť. Použitím kompozitu miesto tradičného materiálu, ako je napríklad oceľ, dochádza k značnému zníženiu hmotnosti. To je dané nízkou hmotnosťou vlastného kompozitu, špecifickými vlastnosťami jednotlivých zložiek a možnosťou vytvoriť kompozit priamo na daný účel. Pretože ide o kombináciu materiálov, môžu sa kompozity navrhovať s ohľadom na špecifické vlastnosti, ktoré prinášajú rad výhod v porovnaní s tradičnými materiálmi, napr. **odolnosť voči chemikáliám, elektrické a teplotné izolačné vlastnosti** atď.

V súčasnosti existuje veľký počet kompozitov na báze **polymérov**, ktorý sa každoročne zvyšuje. Ide o materiály vytvorené spojením výstužného materiálu (plniva) a makromolekulárnej látky, väčšinou s cieľom zlepšiť mechanické vlastnosti. Polymérna zložka tvorí základnú spojitú maticu kompozitu.

Podľa matrice kompozitu rozdeľujeme ich na:

- 1) **Impregnované pórovité materiály** - kompozity na báze keramiky, betónu a dreva. Tieto materiály sa plnia polymérmi. Makromolekulárna látka pritom nevytvára spojitú fázu. Napríklad pri zošľachtenom dreve, ktoré sa spracovalo pridaním syntetickej živice tlakom pri vysokej teplote, sa zlepši jeho pevnosť, odolnosť proti vlhkosti a pod.
- 2) **Makroskopické kompozity** - kompozity, v ktorých makromolekulárna látka vytvára makroskopickú spojitú fázu – napríklad vrstvené materiály (lamináty), tvrdý papier (umakart), tvrdené tkaniny (textgumoid).
- 3) **Vystužené polyméry** - kompozity vytvorené spojením vystuženého materiálu (plniva) a makromolekulárnej látky.
 - kompozity s práškovým plnivom (sadze, minerálne látky ako SiO_2 , oxidy kovov)
 - kompozity s vláknitým plnivom (vlákna sklenené, bórové, azbestové, bavlnené, celulóзовé, grafitové, kovové).



Obrázok 67 Spôsob výroby kompozitov ťahaním (zdroj, <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>)

Významnými typmi kompozitov sú plasty vystužené rôznymi druhmi vlákien. Podľa dĺžky vlákien je možné rozdeliť do dvoch skupín:

- Syntetické materiály vystužené krátkymi vláknami – krátkovláknové.
- Syntetické materiály vystužené dlhými vláknami - dlhovláknové.

Krátkovláknové kompozity sa používajú predovšetkým na vstrekovanie výliskov alebo pre extrudované plastové výrobky.

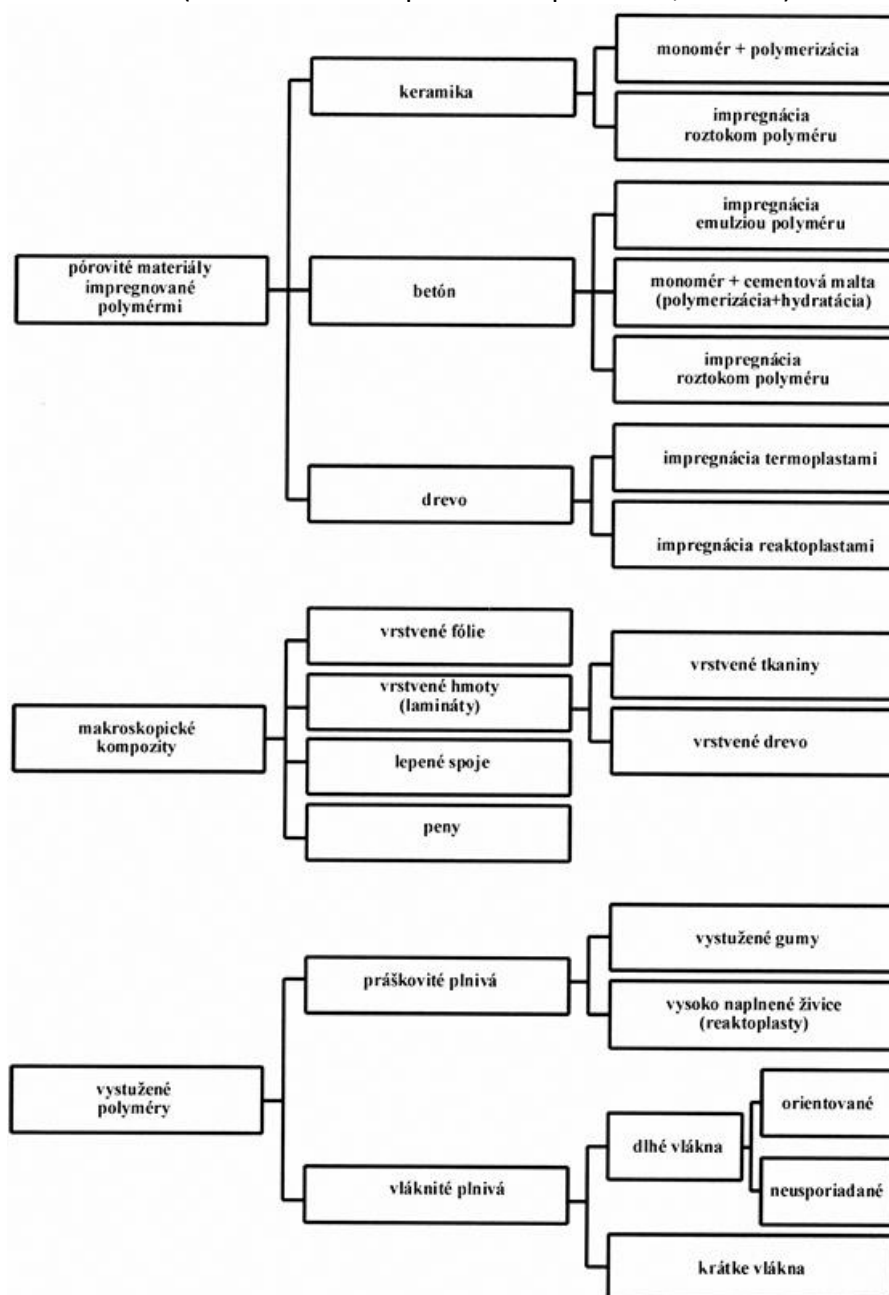
Dlhovláknové kompozity sa často používajú pri veľkých konštrukciách ako sú lode, tlakové nádoby, krídla veterných turbín. Princípom vlastného vláknového vystuženia je to, že vystužujúce vlákna, majúce o jeden až dva rády vyššiu pevnosť a tuhosť v porovnaní so spojivom - **polymérnou maticou**, sa pri vonkajšom namáhaní deformujú menej ako polymér. Dochádza tak ku vzniku šmykových síl na rozhraní vlákno/polymér, ktoré v prípade adhézie medzi oboma komponentmi umožňujú prenos všetkého napätia z nepevnej matrice do vlákien. Tie sú schopné niesť všetky napätia pôsobiace na kompozitný dielec, takže nepevné, ale deformovateľné spojivo je prakticky bez napätia.

V závislosti od vlastností materiálov môžeme kompozity rozdeliť na:

- Kompozity s vysokými mechanickými vlastnosťami,
- Kompozity s špeciálnymi fyzikálno- chemickými vlastnosťami

Na vlastnosti kompozitov zložených z fáz A (matrica) a B (spevňujúca fáza) majú vplyv nasledovné parametre:

- **Objemový podiel zložiek V_A , V_B .**
- **Geometria systému** - jednosmerná kontinuálna fáza (vlákna a tyčinky)
- dvojrozmerná kontinuálna fáza (doska, lamela)
- trojrozmerná kontinuálna fáza (priestorové sieťovice)
- **Stupeň kontinuity** – od úplnej kontinuity až po fázu rozdelenú na diskkrétne častice. Uvedené rozdelenie dovoľuje chápať aj systémy „matrica- disperzné častice sekundárnej fázy“ (napríklad perlit, sorbit) ako kompozity a vytvára prechod ku klasickým materiálom.
- **Usporiadanie fáz** (extrémami sú usporiadania paralelné, sériové)



Obrázok 68 Rozdelenie kompozitov na báze polymérov (zdroj, http://www.sjf.tuke.sk/inmf/multimedialna_vyucba/PM/Prednasky/Kompozity_s_pm.doc)

Sklené lamináty (najstaršie priemyselne vyrábané kompozity) majú matricu z polyesterovej alebo epoxidovej živice, výstužou je sklená tkanina. Ich prednosťou je nízka hustota, vyvážené mechanické vlastnosti, dobré dielektrické vlastnosti, odolnosť proti atmosférickým vplyvom. Tepelná odolnosť je podľa použitej matrice od 50 do 200 °C. Výhodou je aj ľahká výroba zložitejších tvarov a nízka cena. Dosiahnuteľná tuhosť môže limitovať širšie použitie.

Špičkové polymérne kompozity (Advanced Composite Materials) majú matricu z modifikovanej živice (najčastejšie epoxidovej) a sú vystužené borovými, uhlíkovými a aramidovými vláknami. Okrem jednosmerného usporiadania výstuže sa používa vrstvená výstuž s rôznou orientáciou vlákien (zvyčajne 90°) v susedných vrstvách, alebo sa použijú tkaniny. Kombináciou vlákien rôznych typov a usporiadania v jednej súčiastke vzniknú *hybridné kompozity*.

Makroskopické kompozity sú kompozity, v ktorých makromolekulárna látka vytvára makroskopicky spojitú fázu. Najvýznamnejšími makroskopickými kompozitmi sú vrstvené materiály - **lamináty**, ktoré vznikajú spojením viacerých vrstiev polyméru a výstuže.

Výstuž nie je voľne uložená v polymérnej matrici, ale jednotlivé vlákna sú navzájom spojené formou tkanín s rôznymi väzbami alebo formou rohoží, prípadne **rovingov** (zväzkov vlákien). Medzi najpoužívanejšie vrstvené plasty podľa druhu výstuže možno zaradiť sklené lamináty. Sú to vrstvené materiály, zložené z vrstiev sklenej výstuže (roving, tkanina) a spojiva (PF, UP, EP a pod.). K vrstveným plastom patrí aj tvrdý papier (napr. umakart) a tvrdé tkaniny (napr. textgumoid) vyrábané z papiera, resp. z bavlnených tkanín impregnovaných živcami (napr. PF) a spracované lisovaním pri zvýšených teplotách.

Lamináty sa používajú na stavbu častí karosérií niektorých automobilov (karoséria starších malých vozov Trabant z PF vystuženej rohožami z krátkych bavlnených vlákien). Sklené lamináty sa uplatňujú aj pri výrobe športových a turistických lietadiel (trupy a krídla). Podiel plastov v leteckej technike sa podstatne zvyšuje s vývojom kompozitov s grafitovými a kovovými vláknami. Napríklad významné je využitie plastov v nadzvukovom dopravnom lietadle Concorde. Tvrdé tkaniny sa používajú na klzné ložiská a tesnenia.

Vrstvené bezpečnostné sklo, zabraňujúce rozptýleniu črepín pri rozbití, sa vyrába zlepením dvoch alebo viacerých tabúl skla plastom. Predstavuje prechod medzi vrstvenými plastmi a ďalším typom kompozitov - lepenými spojmi, pri ktorých sa plasty využívajú na trvalé spájanie rôznych materiálov.

Ľahčené materiály čiže peny, sú polyméry, obsahujúce dutinky rôznych tvarov a veľkostí. Vyrábajú sa z plastov aj kaučukov. Prísadu do ľahčených materiálov nazývame nadúvadlo. Nadúvadlá pri výrobe ľahčených materiálov uvoľňujú plyny alebo pary a vplyvom tohto procesu majú výrobky bunkovú štruktúru. Poznáme ľahčené materiály s bunkami navzájom prepojenými (pórovité) alebo uzatvorenými (penovité). Ľahčené materiály majú okrem nízkej hustoty aj dobré tepelné, elektrické a akustické izolačné vlastnosti. Technicky najvýznamnejšie ľahčené materiály sú PS, PVC a penovité reaktoplasty. Používajú sa okrem iného vo vnútornom vybavení dopravných prostriedkov (sedadlá).

Špeciálnym prípadom vrstvených plastov sú **sendviče**. Ide o laminátové alebo hliníkové potahy s jadrom z ľahčených plastov, určené napr. na výrobu karosérií chladiarenských vozov a obytných prívosov).

Jedným z najnovších kompozitov na báze plastov je PP vystužený vápencom. Jeho hlavnými vlastnosťami je pomerne veľká tuhosť, ľahké opracovanie a najmä nízka cena. Vzhľadom na tieto vlastnosti sa používa ako náhrada priemyselne vyrábanej živice.

Maximálny obsah plniva musí byť 60 %, ak sa však vyžaduje vysoká kvalita povrchovej úpravy pri lisovaní a vstrekaní, možno použiť maximálne 50 % plniva.

Ďalším materiálom je nerastmi vystužený **NY 66**, ktorý sa vyrába z minerálu chemicky viazaného na nylonový polymér. Hlavnými prednosťami takéhoto materiálu sú:

- zlepšená rázová odolnosť,
- lepšia tepelná stálosť,
- ľahšie spracovanie a natieranie výrobkov.

Tento materiál možno veľmi dobre lisovať a výrobný cyklus prebieha o 30 - 60 % rýchlejšie ako pre samostatný PP alebo NY. Pretože tento materiál je tuhý aj za vysokých teplôt, môže byť z foriem vybraný aj za tepla.

Kompozity s kovovou maticou

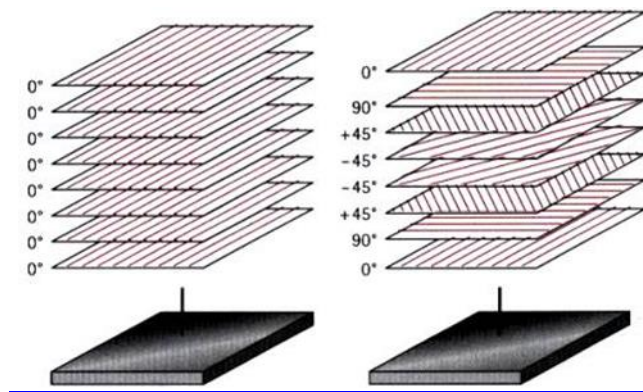
Popri kompozitoch s maticou z plastov majú ako konštrukčné materiály najväčší význam kompozity s **kovovou maticou**. Tieto kompozity sú skupinou materiálov na vysoké namáhanie s veľkým podielom pružnosti. Umožňujú dosiahnuť vhodnú kombináciu vlastností v jednom materiáli:

- vysoká pevnosť a tuhosť pri nízkej hustote,
- vysoká tepelná a elektrická vodivosť,
- zvýšená oteruvzdornosť,
- dobré mechanické vlastnosti za tepla.

Rozdeľujeme ich na:

- **Kompozity s maticou spevnenou disperznou diskontinuálnou fázou** - ide o častice karbidov, nitridov a intermetalických fáz. Tieto materiály sa vyrábajú prevažne práškovou metalurgiou. Charakteristikou týchto materiálov sú vysoká pevnosť, odolnosť voči rekryštalizácii, korózna odolnosť.
- **Vláknové kompozity** – vysokú pevnosť zloženého materiálu zabezpečuje kovová matica a súčasné zvýšenie modulu pružnosti zabezpečuje materiál vlákna. Zaraďujeme sem kompozity s hliníkovou maticou, titánovou maticou, horčíkovou maticou a žiaropevné kompozity. Výstuže vláknových kompozitov možno rozdeliť do troch skupín:
 - drôtky - dlhé drôty s priemerom 2 – 250 μm
 - vlákna – krátke, tenké drôty,
 - whiskery – sú krátke monokryštály s priemerom rádovo 1 μm
- **Kompozity tvorené doštičkovými, tyčinkovými, celulárnymi eutektikami** – systém Al – Al_2Cu

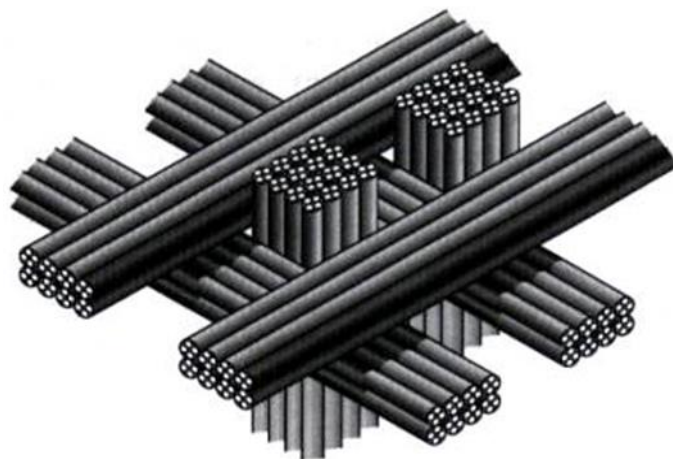
Častice, používané ako plnivá kompozitov, majú tvar guľovitý, doštičkovitý, ihlicovitý, alebo nepravidelný. Ich zloženie je tiež rozmanité: vápenec, oxid kremičitý, oxidy kremíka, horčíka a hliníka, sklenené mikrogulôčky, sľuda, alebo mikročastice kovov. Tieto plnivá menia vo veľkej miere mechanické vlastnosti matrice, ako je modul pružnosti, húževnatosť, tvrdosť, a pod.



Obrázok 69 Možnosti vytvárania kompozitov spevnených vláknami (zdroj, <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>)

Disperzne spevnené kompozity majú v kovovej matrici disperzné nekovové častice o rozmeroch $< 1 \mu\text{m}$ v počte $< 15 \%$ objemu kompozitu. Častice obmedzujú pohyb dislokácií v matrici a zvyšujú odolnosť proti plastickej deformácii zvlášť pri zvýšených teplotách. Ako spevňujúce fázy sa používajú Al_2O_3 , SiO_2 , BeO , CdO , MgO , Cr_2O_3 v závislosti od typu matrice. Najrozšírenejšie použitie majú hliníkové (SAP) a niklové (TD-nikel) disperzne spevnené kompozity.

- **Hliník SAP** (Sintered Aluminium Powder) je hliník spevnený časticami Al_2O_3 , pri príprave ktorého sa využíva povrchová oxidácia hliníkového prášku počas mlecieho procesu. Jeho hlavnou prednosťou sú veľmi dobré mechanické vlastnosti za tepla, nízka hustota, dobrá odolnosť proti korózii a dobrá tepelná vodivosť.

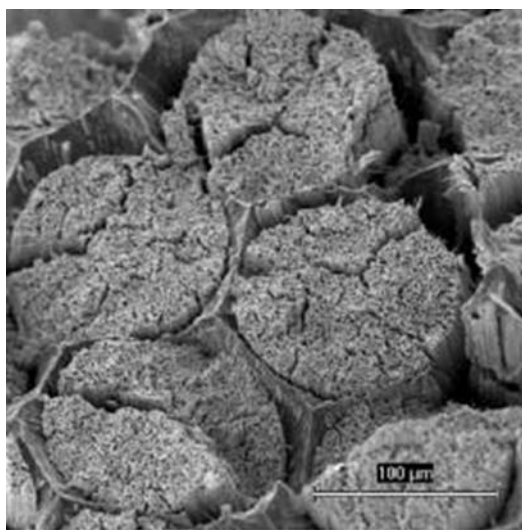


Obrázok 70 Trojrozmerný vláknový kompozit. (zdroj, <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>)

- **Žiarupevné superzliatiny** typu $\text{NiCrAl-Y}_2\text{O}_3$, používané pre plynové turbíny leteckých motorov sa vyznačujú vysokou žiarupevnosťou - dlhodobou pre prevádzkové teploty do 1200°C , krátkodobou až pre prevádzkové teploty do 1350°C . Pripravujú sa mechanickým legovaním. Na stavbu reaktorov, ale aj v leteckom priemysle a raketovej technike, sa používajú antikoročné a žiaruvzdorné austenitické a feritické ocele, disperzne spevnené oxidmi Al, Ti,

prípadne Th. Majú zvýšenú odolnosť voči krehnutiu pri radiácii, vysokú pevnosť (i za tepla, krátkodobo sú použiteľné pre prevádzkové teploty až do 1200 °C) pri prijateľnej húževnatosti a koróznej odolnosti. Nevýhodou je ich vysoká cena, náchylnosť na tepelné krehnutie, problematickosť dodržiavania vysokej pevnosti vo zvaroch, častá anizotropia vlastností a náchylnosť ku koróznemu praskaniu pod napätím.

- **Vláknami spevnené kompozity** pre použitie za normálnych (alebo zvýšených teplôt) majú matricu zo zliatin Al alebo Mg, z Ti a jeho zliatin, a sú armované uhlíkovými, borovými, keramickými alebo kovovými vláknami, čo vedie väčšinou i k zníženiu hustoty. Pre vysoké teploty sú určené kompozity so žiaropevnou zliatinou (matrice) a vlákna s volfrámu alebo zliatin W. Pri ďalších kombináciách matrica/vláknko zostávajú problémy s medzifázovým rozhraním a s rozdielnou teplotnou rozťažnosťou vlákien a matrice.



Obrázok 71 Cu-W kompozitný materiál pripravený infiltráciou - lomová plocha. (zdroj, <http://www.umms.sav.sk/index.php?ID=370>)

3.6 DREVO

Pred ôsmimi tisíckami rokov pokrývali lesy polovicu zemskej súše a drevo sa stalo sa jedným z najstarších a najdostupnejších konštrukčných materiálov. Už praveký človek spoznal v dreve neoceniteľného pomocníka, pomocou ktorého zľahčoval seba a svojim blízkym ťažké životné podmienky. Oštepky, prvé obydliá, kusy nábytku však podliehali vplyvu poveternostných podmienok, predčasne ukončovali svoju životnosť, a človek začal hľadať spôsoby, ako drevo zabezpečiť dlhšiu trvanlivosť.

Objav kovov výrazne prispel k obrábaniu dreva. Sekery, píly a hoblíky sa stali samozrejmosťou. Pomocou prvých nástrojov a šikovnosti tesárov dokázali ľudia vytvoriť diela, ktoré svojou životnosťou prekonali storočia.

Drevo je jedným z najzdravších stavebných materiálov, ktoré svojou štruktúrou, farebnosťou a vôňou vo vnútornom prostredí pôsobí veľmi pozitívne na pohodu človeka a na vytváranie atmosféry. Je jedinečné ako aj človek, nenájdete ani dva rovnaké stromy, ani dve rovnaké textúry dreva. Veď drevo nás sprevádza celým životom, od kolísky až po hrob. Drevo sa používa ako konštrukčný a dekoratívny prvok modernej architektúry v interiéri aj v exteriéri.

3.6.1 Stromy a drevo

Ak pozorujeme stromy v lete, všímame si ich kôru, listy, kvety a plody. Rozpoznávacie znaky stromu sú výrazné aj v zime, keď je strom bez listov. Je to najmä : tvar kmeňa, postavenie konárov, sieť menších konárov a púčikov.

Na určenie stromov je nevyhnutné poznať tieto ich rozpoznávacie znaky:

- vzhľad a farbu kôry a borky,
- stavbu celého kmeňa a rozmiestnenie konárov,
- vzhľad, farbu a rozmiestnenie púčikov na konároch,
- listy,
- plody a kvety, ktoré sú však väčšinou nenápadné alebo v korunách stromov, takže ich dobre nevidíme,
- vlastnosti drevnej hmoty: výhrevnosť, tvrdosť, pevnosť, štiepavosť, využitie...

Kôra a borka

Kôra jednotlivých stromov je značne rozdielna, preto ich môžeme bezpečne rozoznávať. Kôra chráni vnútro kmeňa pred vyparovaním, náhlymi výkyvmi teploty a mechanickým poškodením. Kôru tvorí súbor ochranných vrstiev skorkovatených buniek. Tieto každoročne pribúdajú, čím kôra hrubne smerom k obvodu kmeňa. Na tých stromoch, kde sa tvorí nová vrstva korku, zostáva hladká kôra, rovnomerne hrubá (buk, hrab, lieska, jarabina, jelša zelená). Tvorba korku sa však na niektorých stromoch preruší a jeho nové vrstvy sa začnú tvoriť až po istom čase. Tým sa preruší prívod nových živín do nových vrstiev, takže tie odumierajú a praskajú, čo sa v živote stromu opakuje niekoľko krát. Takto vznikla rozpukaná kôra – borka (dub, borovica, topoľ).

Kmeň a koruna

V lete je strom olistený a tvarom koruny pripomína niektoré geometrické teleso, napríklad guľu (pagaštan, jabloň, lipa, javor), kužeľ (borovica, jelša), vajce (buk, jarabina, brest väz, brest horský), úzky vysoký kužeľ (smrek, jedľa, topoľ), nízky široký kužeľ (smrekovec), tupý kužeľ (dub). Kmeň stromu je dokonalé stavebné dielo, s bezchybným rozložením stavebných síl, ktoré sú schopné odolávať vetru, snehu, námraze, inovati a prívalu dažďa.

Púčiky

Na koncoch konárikov, ktoré sú akýmsi traverzami nosných plôch stromov, vyrastajú púčiky budúcich listov a kvetov. Určiť stromy podľa konárikov a púčikov uľahčí toto rozdelenie:

- **konáriky zakončené jahňadami:** lieska, jelša zelená, breza...,
- **konáriky s trňmi a ostňami:** agát biely, trnka, hloh, ruža šíповá, dráč...,
- **zelené púčiky:** javor horský (klen), javor mliečny, drieň, vtáci zob, orech vlašský...,
- **hnede púčiky:** vrbá, osika, brest väz, brest horský, buk, hrab, pagaštan, lipa...,
- **plstnaté púčiky:** jarabina, dub, dub cerový (cer)
- **čierne až fialové púčiky:** jaseň štíhly, baza čierna

Listy

Listy stromov sa zakladajú tesne pod vrcholom a po vyrastení listu meristematické (delivé) pletivo zaniká, zatiaľ čo v stonkách a koreňoch pretrváva. Sú to asimilačné orgány drevín, v ktorých prebieha fotosyntéza. List sa skladá zo stopky, a čepele. Listy zachytávajú veľa dopadajúceho slnečného svetla, čo značne ovplyvňuje spodné vrstvy lesných rastlín v raste. Preto na jar, kým stromy nie sú olistené, kvitne v spodných vrstvách veľa rastlín, kým po olistení iba živoria.

Plody

Plody vznikajú z opelených a oplodnených kvetov a slúžia na rozmnožovanie drevín. Plody rozdeľujeme na pravé, nepravé a semenné plody. Medzi plodmi stromov a krov rozoznávame:

- **plody a semená s drevnatou škrupinou:** orech, lieska obyčajná,
- **podlhovasté visiace šišky:** smrek
- **šišky rastúce kolmo do výšky a rozpadavé:** jedľa
- **menšie, oválne, guľovité, vretenovité šišky:** borovica sosna, borovica horská, kosodrevina,
- **plody s lietacím zariadením:** javor mliečny, javor poľný, javor horský (klen), brest horský,
- **nedozereté zelené a dozreté hnedé plody alebo semená:** dub letný, dub zimný, dub cerový (cer), dub červený, pagaštan /semeno/,
- **červené plody:** drieň, baza červená, zemolez obyčajný, skalník obyčajný, skalník plstnatý, mukyňa obyčajná, kalina obyčajná, ruža šíповá, hloh obyčajný, čerešňa vtáčia
- **tmavomodré (fialové až čierne) plody:** baza čierna, baza chabzda, vtáčí zob, čremcha, trnka, krušina jelšová, rešetliak prečisťujúci,
- **biele alebo žlté plody:** svíb biely, imelovník biely, imelovník európsky, imelo biele
- **struky alebo tobolky:** agát biely, mechúrnik stromovitý, štedrec ovisnutý,

Časti stromu

Pri drevinách stromovitého vzrastu rozlišujeme tri základné časti.

- koreň,
- kmeň
- korunu

Stromy rastúce v lesnom spoločenstve majú časť kmeňa bez vetiev zreteľne odlišiteľnú od koruny. Naproti tomu stromy rastúce osamote (solitéry) sú často zavetvené až po zem (najmä ihličnaté) a v takom prípade sa kmeňová a korunová časť navzájom prekrývajú. Časti stromu majú v organizme dreviny rôzne funkcie a aj rozdielnu použiteľnosť.

Korene majú mechanickú, absorpčnú, vodivú, syntetickú a zásobnú funkciu. Tvar koreňovej sústavy je pre druh dreviny charakteristický. Rozoznávajú sa tri hlavné typy koreňových sústav:

- **srdcovitá**, pri ktorej kolovitý koreň skoro zastavuje rast a bočné korene.
- **kolovitá**, kde hlavný koreň vrastá priamo do zeme ako pokračovanie kmeňa (dub, borovica), vrastajúca do pôdy pôvodne pod malým uhlom, sa šikmo až kolmo stáča do zeme (jedľa, smrekovec, buk, lipa, jaseň)
- **povrchová, plošná s koreňmi rovnobežne** sa kalamitách často trpí vývratmi. rozrastajúcimi s povrchom pôdy (smrek, agát).



Obrázok 72 Povrchové plošné korene (zdroj, <http://www.enigma.sk/weblogy/vlado-preloznik/cesty/moorea-ii-cast>)

Kmeň

Vynáša asimilačné orgány k svetlu (korunu), má vodivú funkciu ako spojnica koreňov s korunou a má aj zásobnú funkciu a je z hľadiska priemyselného spracovania najdôležitejším zdrojom dreva.

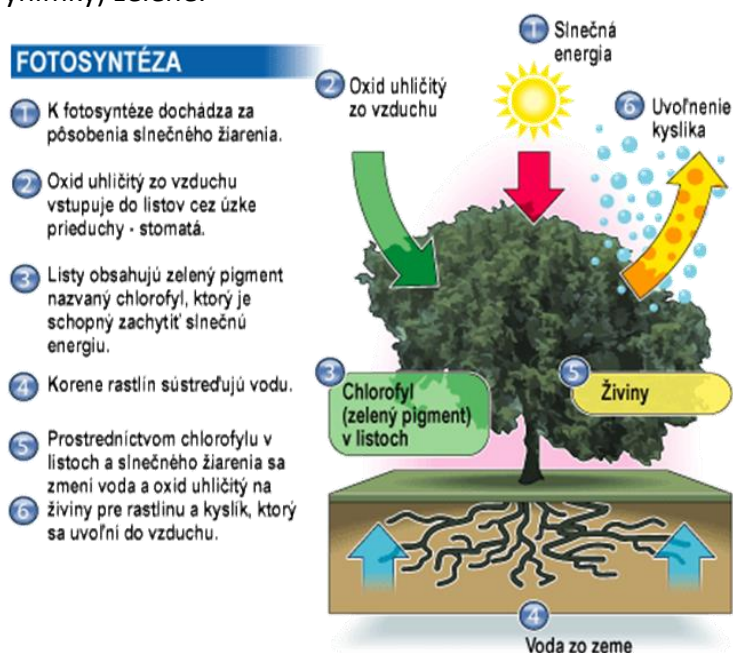
Koruna

Koruna je zodpovedná za rozmiestnenie listov do priestoru tak, aby zachytili čo najviac svetla, potrebného k fotosyntéze, ktorá zabezpečuje pre strom uhlík na tvorbu organických látok a je zdrojom kyslíka na Zemi. Podľa tvaru rozlišujeme tieto najbežnejšie typy korún stromov:

- kužeľovitá – smrek
- valcovitá – jedľa
- vajcovitá – borovica, jelša, javor, breza, dub, buk
- vretenovitá – topol
- guľovitá – javor, jaseň, dub
- metlovitá - hrab

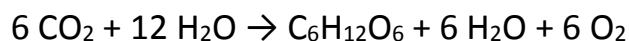
Najcharakteristickejším procesom, ktorý prebieha v korunách stromov, je **fotosyntéza**. Schopnosť fotosyntézy majú rastliny (stromy) vďaka chlorofylom a iným asimilačným

farbivám, ktoré sú ale po väčšinu života rastliny prekryté zelenou farbou chlorofylu, čiže na pohľad sú (až na výnimky) zelené.



Obrázok 73 Proces fotosyntézy v prírode (zdroj <http://www.sme.sk/c/3037055/aka-bude-klima-o-sto-rokov.html>)

Fotosyntézu poznáme ako sumárnu rovnicu, ktorá prebieha za pomoci slnečného žiarenia a chlorofylu:



V tomto prípade je $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ glukóza. Vidíme, že z jednoduchých látok ako CO_2 a H_2O vznikla zložitá glukóza. Preto môžeme zovšeobecniť. Fotosyntéza je základný proces tvorby organických látok, pri ktorom sa fixuje oxid uhličitý za pomoci slnečnej energie. Na fotosyntézu sa využije len 0,02 – 0,05 % dopadajúcej slnečnej energie. Ročne sa vďaka fotosyntéze viaže $1,5 \cdot 10^{14}$ kg uhlíka čo približne zodpovedá svetovým zásobám ropy (tie predstavujú $1,4 \cdot 10^{14}$ kg). A uvoľňuje sa $4 \cdot 10^{14}$ kg kyslíka. Asi 10 % uvedených množstiev pripadá na suchozemské zelené rastliny a až 90 % na zelené riasy svetových morí a oceánov. Fotosyntézou sa udržiava kolobeh uhlíka a kyslíka v prírode. Kyslík využívajú na dýchanie takmer všetky živé organizmy.

3.6.2 Charakteristika dreva

Je to materiál prírodný a pri dobrom manažmente zároveň obnoviteľný. Má veľa užitočných vlastností, ako sú napríklad:

- pružnosť, pevnosť a pritom je to ľahký materiál,
- má dobré tepelnoizolačné vlastnosti,
- znáša veľké zaťaženie,
- tlmi vibrácie,
- ľahko sa opracúva reznými nástrojmi,
- možno ho spájať, spevňovať kovovými, a inými výplňami.

- má pôsobivé dekoračné vlastnosti
- môže mať aj výborné rezonančné vlastnosti.

Nevýhodou dreva je jeho:

- horľavosť,
- malá odolnosť proti poveternostným vplyvom,
- slabá odolnosť proti rastlinným a živočíšnym škodcom.

Odborne povedané, drevo je prirodzený organický materiál, zložený z buniek. Je kompozitom vytvoreným z celulózy, hemicelulózy, lignínu a ďalších látok. Alebo aj inak, drevo je nehomogénny a anizotropný biopolymér a to po chemickej a aj anatomickej (na úrovni mikro-, submikro- a makroskopickkej) stránke. Z dôvodu využívania tohto kvalitného materiálu a jeho ochrany pred poškodením je potrebné poznať jeho charakteristické vlastnosti vyplývajúce zo stavby dreva.

Anizotropnosť stavby dreva definuje hlavne pozdĺžny tvar drevných buniek a ich orientácia v stavbe bunkových stien. V dreve je vždy prítomná voda. Je pritom dôležité uvedomiť si, že obsah vody v dreve má rozhodujúci vplyv na takmer všetky vlastnosti dreva.

3.6.3 Stavba dreva

Stavbou (skladbou) dreva, rozumieme prirodzené, biologicky a chemicky dané charakteristiky dreva. Pre charakteristiku drevnej hmoty použijeme tieto pohľady na problematiku:

- makroskopickú stavbu,
- mikroskopickú stavbu
- chemická stavba,
- submikroskopická stavba

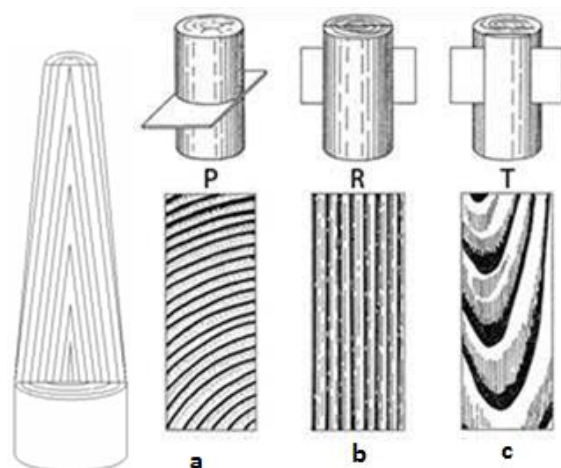
3.6.4 Makroskopické znaky dreva

Sú rozpoznateľné voľným okom a patria medzi základné charakteristické znaky, ktoré nám pomáhajú rozpoznávať druhy drevín. Patria sem:



Obrázok 74 Makroskopické znaky dreva (zdroj,

http://www.rezbarstvo.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=126:stavba-dreva&catid=28:materialy&Itemid=51



Obrázok 75 Schematické znázornenie kmeňa stromu, rezy kmeňom, a – priečny (transverzálny) rez, b – pozdĺžny (radiálny) rez, c – dotyčnicový (tangenciálny) rez

Drevo má cylindricky-kužeľovitú stavbu (obrázok 75), ktorá sa skúma v troch základných rezoch a smeroch. Medzi základné rezy kmeňa patria (obrázok 74):

- **priečny rez - transverzálny**, ktorý je kolmý k osi kmeňa a je charakteristický sústredným usporiadaním letokruhov,
- **pozdĺžny rez - radiálny**, ktorý je vedený stredom kmeňa, rovnobežne (súbežne) s osou kmeňa
- **dotyčnicový rez - tangenciálny**, ktorý je vedený rovnobežne s osou kmeňa v určitej vzdialenosti od stredu kmeňa.

Stržeň – najzreteľnejší na priečnom (axiálnom) reze v strede ročných kruhov, je mäkkší ako drevo, len u buku drevnatie, priemer sa pohybuje od 2 do 5 mm, má rôzne tvary (okružlastý, trojuholníkový - buk, jelša, štvoruholníkový – jaseň, päťuholníkový – topoľ, hviezdicový – borovica, dub).

Ročné kruhy – sú hrúbkový prírastok dreva za jeden rok, vytvárajú sa periodickou činnosťou delivých buniek (kambia) a jeho vrstva obaľuje kmeň, vetvy a korene. Sú väčšinou pozorovateľné voľným okom alebo pod lupou. Skladajú sa z dvoch farebne a štruktúrálnych rozdielných vrstiev **jarného** (svetlé) a **letného dreva** (tmavšie).



Obrázok 76 Veľmi dobre pozorovateľné sú ročné kruhy na ihličnatom dreve. (zdroj, <http://www.oskole.sk/pages/printpage.php?clanok=96762294>)

Stržňové lúče - zabezpečujú horizontálny pohyb organických látok (produktov asimilácie) v kmeni. Na priečnom reze niektorých drevín ich pozorujeme ako svetlejšie (často lesklé) čiary prebiehajúce v smere polomerov od stržňa - **primárne** alebo od niektorého ročného kruhu k obvodu kmeňa **sekundárne** a vždy prenikajú až do lyka, kde sa nazývajú **lykové lúče**. Na radiálnych rezoch vytvárajú rôzne vysoké lesklé pásiky, ktoré prebiehajú naprieč ročným kruhom. Na tangenciálnych rezoch vytvárajú podlhovasté úzke tmavšie pásiky (buk a dub – hnedé, jelša – červené, hrab – svetlohnedé, cer – červenohnedé). Stržňové lúče majú všetky dreviny, ale nie pri všetkých sú viditeľné.

Podľa viditeľnosti môžeme naše dreviny rozdeliť na 3 skupiny:

- dreviny s viditeľnými stržňovými lúčmi na všetkých rezoch – dub, buk, hrab, jelša,
- dreviny s viditeľnými stržňovými lúčmi len na radiálnych rezoch – ostatné listnaté dreviny,
- dreviny so stržňovými lúčmi nepozorovateľnými voľným okom – ihličnaté dreviny, topole.

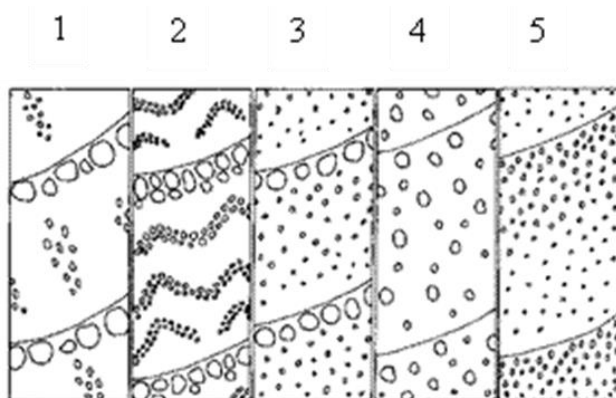
Živicové kanáliky - majú z našich drevín smrek, borovica, smrekovec a limba. Pri pozorovaní týchto drevín rozpoznávame:

Horizontálne živicové kanáliky – prechádzajú cez stred niektorých stržňových lúčov a ich rozmery sú pod hranicou viditeľnosti ľudského oka.

Vertikálne živicové kanáliky – sú uložené zvisle pomedzi vertikálne orientovanými bunkami dreva, vyskytujú sa prevažne v letnom dreve a môžeme ich pozorovať aj voľným okom ako jemné brázdičky až výrazné čiarky na pozdĺžnych rezoch.

Vertikálne aj horizontálne živicové kanáliky sú navzájom spojené, vytvárajú sústavu, z ktorej pri poranení kôry strom „roní živicu“ – vytláča na povrch dreva. Živica má pre strom **ochrannú funkciu** (pri poranení) a **impregnačnú funkciu** – zvyšuje odolnosť dreva proti hubám.

Cievy – ich funkciou je viesť vodu z koreňov do koruny. Na priečných rezoch sú viditeľné ako otvory – póry, na pozdĺžnych rezoch ako ryhy alebo brázdičky. Najväčšie cievy sú v jarnom dreve listnatých drevín **kruhovitopórovitých**. Letné cievy kruhovitopórovitých sú menšie, na priečnom reze nie sú viditeľné ako póry, ale len ako bodky. U **roztrúsenopórovitých** drevínach je šírka ciev podstatne menšia, na priečných rezoch nie sú voľným okom viditeľné.

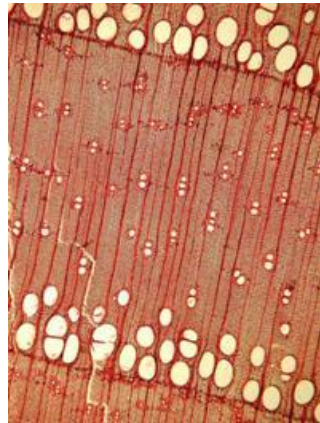


Obrázok 77 Typy uložení ciev na priečnom reze (Požgaj, Chovanec a kol., 1997): 1, 2, 3 – kruhovito pórovité dreviny s rôznym usporiadaním letných ciev, 4 – prechodne - pórovité dreviny, 5 – roztrúseno- pórovité dreviny

- **kruhovito-pórovité dreviny** - dub, dub cér, agát, jaseň, brest



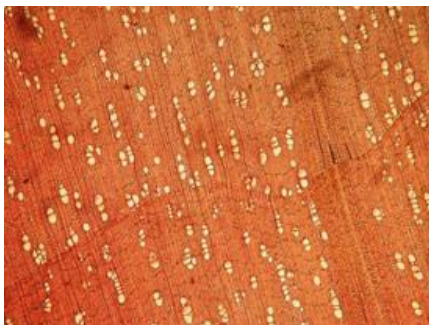
A



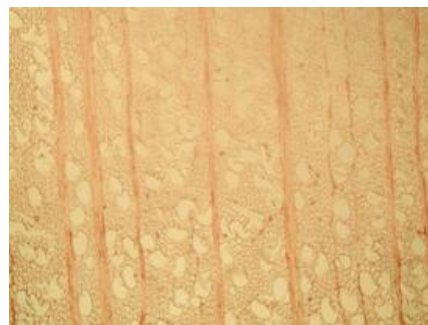
B

Obrázok 78 Kruhovito pórovité dreviny A – dub, B – jaseň (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/)

- **roztrúseno-pórovité dreviny** – buk, jelša, javor, topoľ, lipa, breza



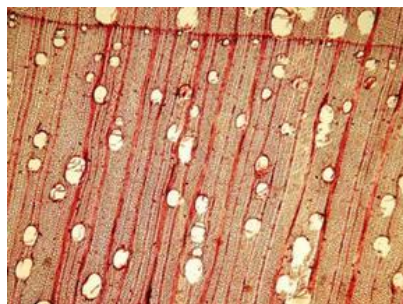
A



B

Obrázok 79 Roztrúseno pórovité dreviny A – hrab, B – buk (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/)

- **prechodné** – čerešňa, orech



Obrázok 80 Drevo orecha (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/)

3.6.5 Ostatné makroskopické znaky

Do tejto skupiny zaraďujeme vôňu (prípadne zápach), lesk, hmotnosť a tvrdosť, kresbu dreva. **Vôňa – zápach** sú charakteristické pre určitý druh dreva, najintenzívnejšie voňajú – limba, borovica, smrekovec a smrek, pretože obsahujú živice. Drevo jedle má kyslastý zápach, dub páchne po trieslovinách, agát vonia ako repa, odpudzujúci zápach máva drevo vyschýnajúcich topoľov, mokrá breza páchne po plesni.

Lesk dreva pozorovaný na ohobľovanom reze bez inej úpravy majú najvýraznejší javory, hodvábne sa leskne vlnitý javor, hodvábnoplamencový lesk má breza a hruška.

Hustota dreva - udáva hmotnosť jeho objemovej jednotky pri určitej vlhkosti, pričom sa vyjadruje najčastejšie v kg. m⁻³ alebo g. cm⁻³. Vypočíta sa z podielu hmotnosti m_w a objemu dreva V_w

$$\rho_w = m_w / V_w [\text{kg. m}^{-3}]$$

kde ρ_w – hustota dreva pri určitej vlhkosti
 m_w - hmotnosť vzorky dreva pri určitej vlhkosti
 V_w - objem vzorky dreva pri určitej vlhkosti

Pre možnosť porovnania výsledkov a pri rôznych teoretických výpočtoch sa uvažuje s **hustotou dreva v absolútne suchom stave** ρ_0 , keď je hmotnosť a objem dreva pri nulovej vlhkosti:

$$\rho_0 = m_0 / V_0 [\text{kg. m}^{-3}]$$

kde ρ_0 - hustota dreva pri nulovej vlhkosti
 m_0 - hmotnosť vzorky dreva pri nulovej vlhkosti
 V_0 - objem vzorky dreva pri nulovej vlhkosti

Podľa doteraz platnej normy STN 490108 sa hustota dreva udáva pri **vlhkosti 12 %**. Za najťažšie drevo sa pokladá guajak $\rho_0 = 1363 \text{ kg. m}^{-3}$, za najľahšie drevo balzy $\rho_0 = 130 \text{ kg. m}^{-3}$.

Dreviny	Hustota ρ_0 [kg. m ⁻³]
Smrek, jedľa, topole	350 – 400
Brest, dub	640 – 650
Buk	680
Agát, hrab	730 – 800
Drieň	850

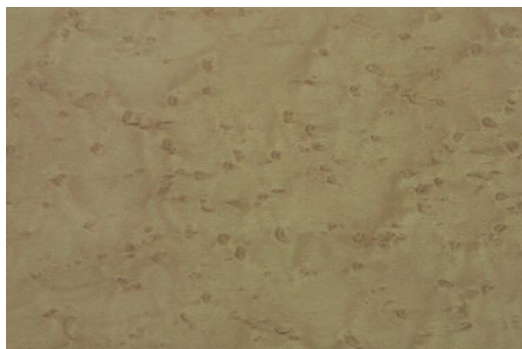
Hustota dreva významne ovplyvňuje fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva, napr. ťažké drevo je pevnejšie, tvrdšie a odolnejšie proti opotrebeniu než ľahké drevo, tiež nadobúda význam pri mechanickom a chemickom spracovaní, je ukazovateľom vhodnosti použitia na konkrétne účely napr. nízka hmotnosť pri vysokej pevnosti alebo pružnosti (stavebníctvo), pri použití dreva na hudobné nástroje.

Kresba – textúra dreva sa vytvára kombináciou makroskopických znakov uvedených v predchádzajúcich kapitolách a je charakteristická pre určitú drevinu a rez.

Vlnitý lesk – je rastová odchýlka, pri ktorej bunkové elementy neprebiehajú priamo rovnobežne s osou kmeňa ale v kratších alebo dlhších vlnách. Na pozdĺžnych rezoch alebo na dyhách sú matné a lesklé plochy, ktoré so zmenou uhla pohľadu a osvetlenia sa menia tak, že

matné plochy nadobúdajú lesk a lesklé plochy sa stávajú matnými. Typické pre brezy severských krajín.

Spiace očka – vznikajú ako dôsledok tvorby zárodku rezervných základov vetiev, ktoré sa z nich vyvinú len príležitostne, dodatočne pri uvoľnení a osvetlení kmeňa. Ich znaky v dreve sa začínajú od niektorého ročného kruhu a na tangenciálnych rezoch sa prejavujú ako okrúhlasté tmavšie alebo bledšie útvary.



Obrázok 81 Javor cukrodarný *Acer saccharum* – spiace očka
http://mamonova.webz.cz/struktura/h_textura/x_acer_saccharum.htm

Korenica – je to zvláštna pestrá kresba vznikajúca v oblasti pňa, ktorý sa bežne neťaží. Ročné kruhy jednotlivých koreňov vrastajú do kmeňa, kde sa prispôbujú jeho ročným kruhom. Do pňa zarastajú niekedy aj jemné koreničky, čo spestruje kresbu korenice. Tým vznikne veľmi pekná kresba, ktorá má okrem uvedených znakov aj vlnitý lesk. Najčastejšie sa korenice získavali z orecha, zaujímavá je aj z jaseňa, javora, bresta, duba, brezy, topoľa..(obrázok 81).



Obrázok 82 Topoľová korenica (zdroj, <http://www.fihadyha.cz/dyha/fotogalerie-druhu-dyh.aspx>)

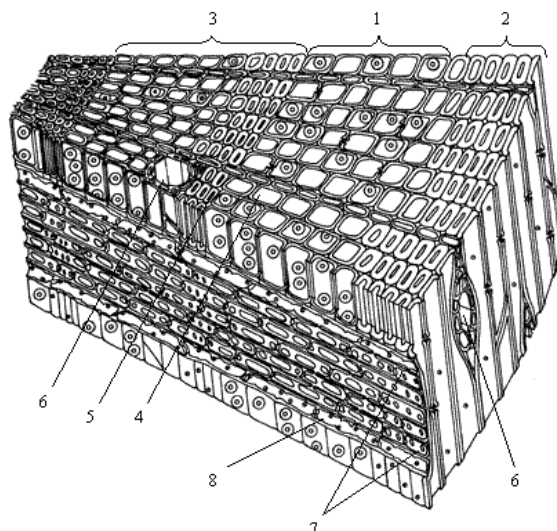
3.6.6 Mikroskopická stavba dreva

Drevo sa skladá z buniek, ktoré v priebehu života stromu plnia rôzne funkcie. Podľa ich funkcií rozlišujeme tri typy buniek:

- parenchymatické bunky - vyživovacie vodivé a zásobné bunkové elementy,
- sklerenchymatické bunky - vystužovacie bunkové elementy,
- cievy - vodivé bunkové elementy (Trachea - pravé cievy, tracheidy - cievce).

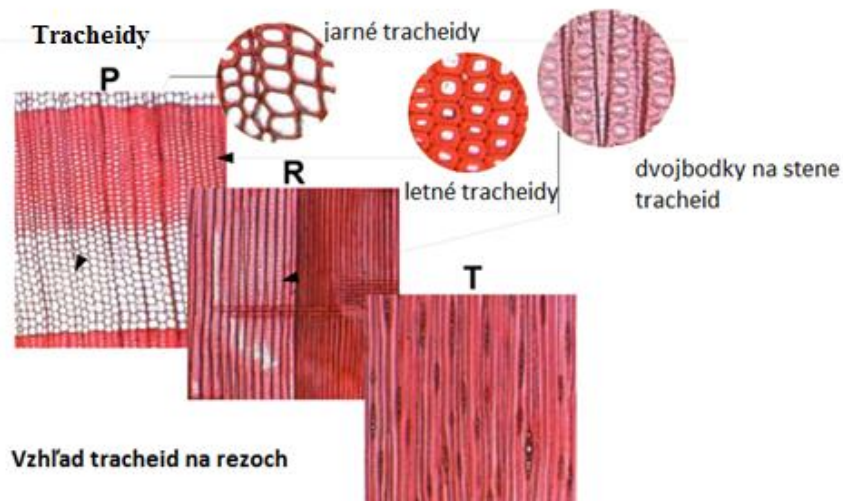
Z hľadiska zastúpenia jednotlivých typov buniek v dreve aj z hľadiskami zložitosti mikroskopickej (anatomická) stavby dreva delíme dreviny na **ihličnaté a listnaté**.

Ihličnaté dreviny sa vyznačujú jednoduchšou anatomickou stavbou dreva (obr. 83). Prevládajúcim bunkovým elementom ihličnanov sú tracheidy, ktoré predstavujú 90 – 94 % ihličnatého dreva. Zostávajúcu časť dreva, 5 - 12 % celkového objemu drevnej hmoty, tvoria parenchymatické bunky. Z týchto buniek sa skladajú stržňové lúče, živичné kanáliky a axiálny parenchým.

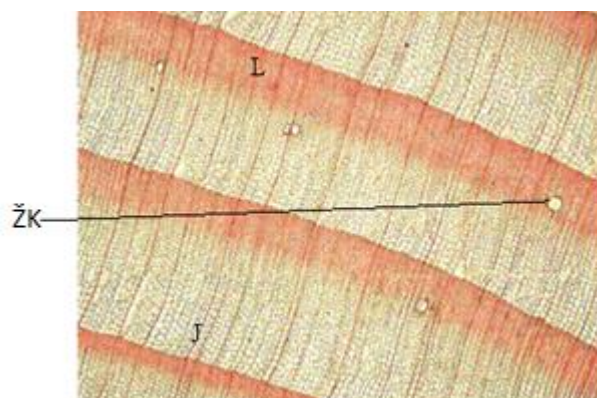


Obrázok 83 Priestorové znázornenie anatomickej stavby ihličnatého dreva : 1 - jarné drevo, 2 - letné drevo, 3 - letokruh, 4 - jarné tracheidy s dvojbodkami, 5 - letné tracheidy, 6 - živичový kanálik, 7 - dreňový lúč, 8 - priečna tracheida (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/)

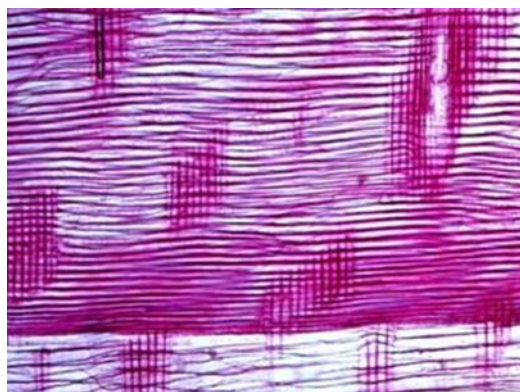
Tracheidy sú pretiahnuté bunky dlhé 2 – 7 mm (priemerná dĺžka 3,5 mm) s rôznym zakončením (oblé, špicaté, vidličkovité a i.), ktoré majú rozdielnu funkciu aj stavbu v jarnom a letnom dreve (obrázok 84). Rozmery tracheíd a hrúbka ich bunkových stien závisí od ich polohy v rámci letokruhu, ďalej na veku stromu, polohe v kmeni a podmienkach stanovišťa. Tvar a rozmiestnenie tracheíd je dôležitým diagnostickým znakom. Tracheidy sú v dreve väčšinou uložené vertikálne. Na priečnom reze majú spravidla 4-6 uholníkový tvar so zreteľným rozlíšením jarných a letných tracheíd. Sú usporiadané v pravidelných radiálnych radoch za sebou, v neskorom letnom dreve sú viditeľné aj tangenciálne rady buniek. Na pozdĺžnych rezoch sa zobrazujú v pozdĺžnych rozmeroch. Výmenu látok medzi tracheidami umožňujú dvojbodky, medzi tracheidou a parenchymatickou bunkou polovičné dvojbodky.



Obrázok 84 Jarné a letné tracheidy v rezoch dreva (zdroj: https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/EOPORY/DROCH-Drevo_a_jeho_ochrana/droch_cv_03-Mi-J.pdf)



Obrázok 85 Smrekové drevo priečny rez zväčšené 40×. J – jarné drevo, L - letné drevo, ŽK – živcový kanálik (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/)



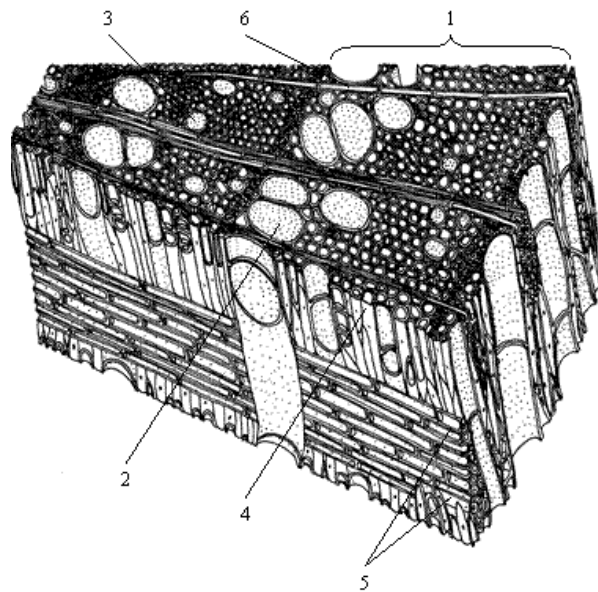
Obrázok 86 Radiálny rez smrek zväčšené 100×. Viditeľné stržňové lúče prekrížujúce tracheidy takzvané krížové pole (zdroj, http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/)

Listnaté dreviny

Drevo listnatých drevín je tvorené väčším počtom rôznych buniek, ktoré sú viac špecializované a prispôsobené svojej funkcii pri porovnaní s bunkami ihličnatých drevín. Drevo listnáčov obsahuje nasledujúce typy buniek:

- cievy trachea - majú vodivú funkciu,
- cievice tracheidy – majú vodivú a nosnú funkciu,
- libriformné bunky (drevné vlákna) – majú nosnú funkciu,
- parenchymatické bunky - majú vodivú a zásobnú funkciu.

Stavbu listnatého dreva schematicky znázorňuje obrázok 87.



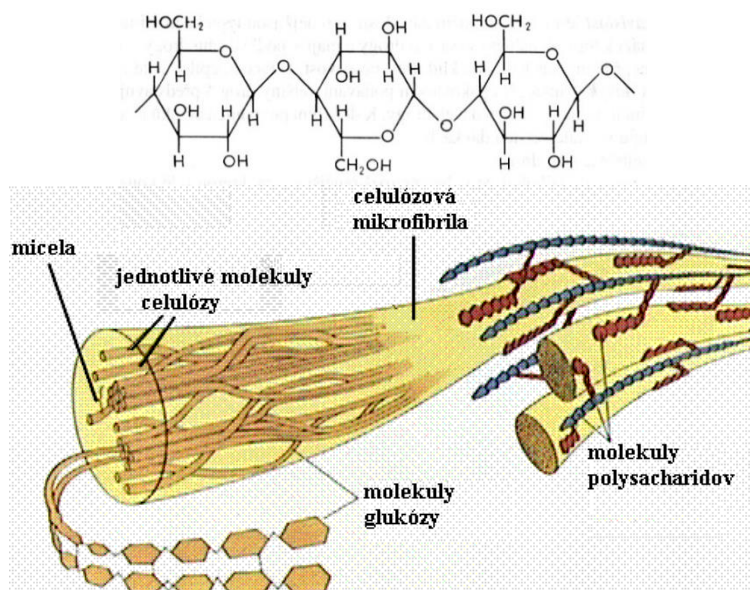
Obrázok 87 Priestorové znázornenie anatomickej stavby listnatého dreva (Požgaj, Chovanec a kol., 1997): 1 - letokruh, 2 - jarná cieva, 3 - letná cieva, 4 - libriformné vlákno, 5 - dreňový lúč, 6 - pozdlžny parenchým (zdroj,

http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_mikroskopicka_stavba_dreva/

3.6.7 Chemická stavba dreva

Chemicky sa drevo skladá asi zo 49 % celulózy, 24 % hemicelulózy, 24 % lignínu a asi 2 až 3 % živíc, tukov, trieslovín, z chemického hľadiska drevo obsahuje asi 50 % uhlíka, 43 % kyslíka a zvyšok tvorí vodík, dusík a minerálne látky.

- **Celulóza (buničina)** je polysacharid. Tvorí hlavnú súčasť rastlín a je hlavnou zložkou bunkových stien. Dodáva im mechanickú pevnosť a odolnosť, nerozpúšťa sa vo vode, ani v organických rozpúšťadlách, ani v miernych chemických činidlách.



Obrázok 88 Chemický vzorec celulózy znázornenie skladby vlákien celulózy (zdroj, http://fld.czu.cz/vyzkum/nauka_o_lp/chemie/chemie.html)

Niekoľko takýchto vlákien sa spája a vytvára micely. Niekoľko miciel tvorí fibrilu (obrázok 86). Fibrily bývajú usporiadané rôzne, v závislosti od typu pletiva a funkcie, ktorú vykonáva.

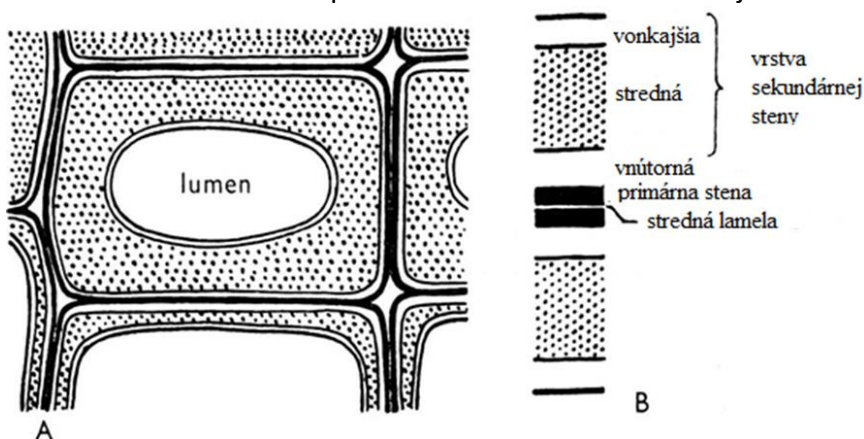
- **Hemicelulóza** je tiež makromolekulová látka, vznikajúca z rôznych cukrov a podobne ako celulóza je vláknitá. Vlákna sú však podstatne kratšie a preto má hemicelulóza aj nižšiu pevnosť. Horšie tiež odoláva chemikáliám. Na rozdiel od celulózy sa štiepi okrem kyselín aj v zásadách na jednoduché cukry, glukózu, xylózu, galaktózu a ďalšie. Drevo obsahuje 22 až 28 % hemicelulózy (viac sú zastúpené v dreve listnáčov). Hemicelulóza v dreve obaľuje (sprevádza) celulózu.
- **Lignín** na rozdiel od celulózy a hemicelulózy možno označiť ako látku beztvárú (amorfnú). V dreve je zastúpený asi z 26 % - 35 %. Lignín prelína celulózu a hemicelulózu, vyplňa medzery. Chová sa ako termoplast a plní v dreve funkciu tmelu látok vláknitej štruktúry. Viac lignínu obsahujú listnáče, preto sú tieto dreviny ťažšie, ale tiež sú po ohriatí tvárnejšie, plastickejšie.
- Triesloviny sú látky, ktoré vo vodnom roztoku zrážajú bielkoviny, rozpúšťajú sa vo vode, v alkohole a v acetóne.
- **Ostatné látky** netvoria drevnú hmotu a preto menej ovplyvňujú vlastnosti tohto materiálu. Za zmienku stoja látky zvyšujúce odolnosť dreva proti hubám, plesniam a hmyzu. Tieto schopnosti majú **triesloviny, živice a niektoré alkaloidy**, ktoré však nepriaznivo ovplyvňujú spracovanie dreva. Napríklad živicové kanáliky je nutné mechanicky alebo vymývaním organickými rozpúšťadlami vyčistiť. Triesloviny a niektoré alkaloidy spôsobujú sfarbenie povrchu dreva (morenie), alkaloid betulín obsiahnutý v dreve brezy zlepšuje zase natoľko zápalnosť tohto dreva, že horí aj surové, nevysušené.

Hmota dreva vzniká z 97 % z vody a vzduchu pôsobením slnečných lúčov. Zvyšok tvoria minerálne soli, ktoré obsahuje voda.

3.6.8 Submikroskopická stavba dreva

Je pozorovateľná jedine elektrónovým mikroskopom. Lignifikované bunky dreva sú tvorené bunkovou stenou a bunkovou dutinou – lumenom. Bunková stena je súvrstvom submikroskopicky a chemicky odlišných vrstiev (stredná lamela, primárna a sekundárna stena. Stavbu bunkovej steny tvoria (obrázok 89):

- **stredná lamela** - takzvaná medzibunková hmota spájajúca bunky dreva. V priemere obsahuje 70 % lignínu a zvyšok tvoria pektíny,
- **primárna stena** – štruktúrne sa odlišuje od strednej lamely, chemicky sú však podobné. Obsahuje 7 – 15 % celulózy.
- **sekundárna stena** – sa skladá zo 43 % celulózy, fibrily v nej majú špecifickú orientáciu, lamely sú kompaktnejšie uložené. U väčšiny buniek je sekundárna stena trojvrstvová. Jednotlivé vrstvy sekundárnej steny (vonkajšia, stredná a vnútorná) sa medzi sebou líšia submikroskopickou štruktúrou a čiastočne aj chemickou



Obrázok 89 Submikroskopická štruktúra bunkovej steny (zdroj, <http://www.n-i-s.cz/cz/mikroskopicka-stavba-jehlicnatych-drevin/page/321/>)

Medzi bunkami dreva existujú medzibunkové prepojenia, ktoré zabezpečujú transport vody a živín. Tieto prepojenia sa nazývajú stenčieniny a predstavujú nezhrubnuté miesta v bunkovej stene, v ktorých sa nachádzajú submikroskopické póry. V mieste stenčieniny nie je vyvinutá sekundárna bunková stena a fibrily sú v mieste stenčieniny odklonené od pravidelného smeru. Rozlišujeme dva druhy stenčienín:

- jednoduché stenčieniny – bodky,
- dvorčekovité stenčieniny - dvojbodky.

3.6.9 Vlastnosti dreva

Drevo je **anizotropný** materiál, čo znamená, že v rôznych smeroch má rôzne vlastnosti. Väčšina fyzikálnych a mechanických vlastností sa v závislosti na smere k vláknam líši. Je to hygroskopický materiál, ktorý má tendenciu uchovávať svoju vlhkosť v rovnovážnej polohe a tá je závislá na vlastnostiach okolia. Zmenou vlhkosti dochádza aj k rozmerovým zmenám.

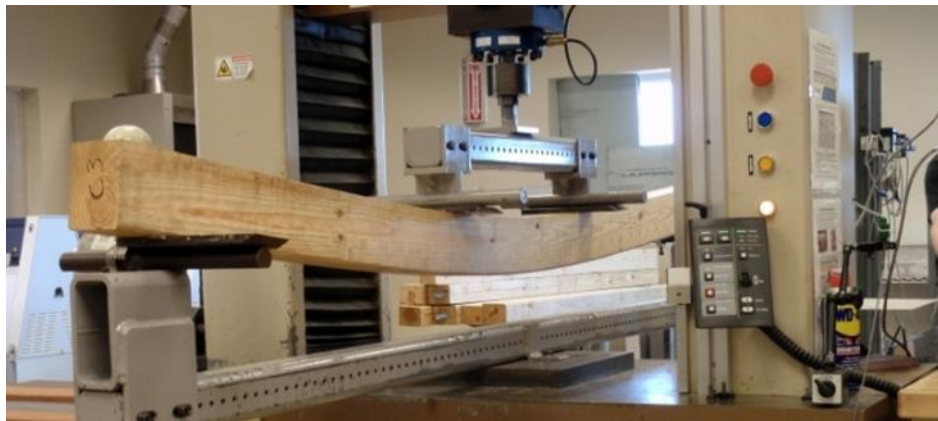
„Fyzikálne a mechanické vlastnosti dreva predstavujú skonkretizovanú a aplikovanú klasickú nerelativistickú fyziku pevných látok a tekutín na jeden z najdokonalejších prírodných materiálov – drevo.“ (<http://ldf.mendelu.cz/und/?q=node/9>)

Poznáme základné rozdelenie vlastností dreva:

1. **Fyzikálne vlastnosti** - sú tie vlastnosti dreva, ktoré možno skúmať bez narušenia chemického zloženia a celistvosti pozorovaného materiálu, do tejto skupiny zaradujeme:
 - Vlastnosti určujúce vonkajší vzhľad dreva (farba, lesk, vôňa, textúra dreva). Farba dreva je jedným z dôležitých ukazovateľov kvality dreva. V zásade platí, že čím je drevo tmavšie, obsahuje viac živíc a trieslovín a je odolnejšie voči hnilobe.
 - Vlastnosti určujúce hmotnosť dreva (objemová hmotnosť dreva, merná hmotnosť drevnej substancie). Objemová hmotnosť závisí od druhu dreva a jeho vlhkosti. So vzrastajúcou vlhkosťou rastie aj objemová hmotnosť. Objemová hmotnosť dreva v suchom stave sa u väčšiny drevín pohybuje v rozmedzí $400 - 700 \text{ kg.m}^{-3}$. Najľahším drevom je drevo balzy (*Ochroma lagopus*) 130 kg.m^{-3} a drevo s najväčšou objemovou hmotnosťou je guajak (*Guaicum*) 1363 kg.m^{-3} .
 - Vlastnosti určujúce vzťah dreva k teplu (merné teplo, merná tepelná vodivosť).
 - Vlastnosti určujúce vzťah dreva ku zvuku (zvuková vodivosť dreva, priezvučnosť dreva, rezonančná schopnosť dreva).
 - Vlastnosti určujúce vzťah dreva k elektrine (elektrická vodivosť, pomerná permitivita).
 - Vlastnosti určujúce vzťah dreva k vode (voda voľná, voda viazaná, voda chemicky viazaná, vlhkosť dreva, nasiakavosť dreva vodou, napúčanie a zosychanie, bortenie dreva)
2. **Mechanické vlastnosti** - pod pojmom mechanické vlastnosti dreva rozumieme schopnosť dreva odolávať účinkom vonkajších mechanických síl. Pri mechanickom namáhaní je objektom drevo – tuhé teleso a reakcia dreva na mechanické namáhanie nezávisí len od väzieb chemických zložiek dreva a ich vzájomného spojenia (celulózy, lignínu, hemicelulózy), ale často v rozhodujúcej miere od samotnej geometrie telesa. Z hľadiska mechanického namáhania sa drevo predstavuje svojou štruktúrou na jednej strane a geometriou namáhaného telesa na strane druhej. Mechanické vlastnosti rozdeľujeme do dvoch základných skupín:
 - a) **Statická pevnosť** dreva je jeho odpor voči pôsobeniu sily pomaly a rovnomerne sa zvyšujúcej alebo voči pôsobeniu sily konštantnej veľkosti pôsobiacej na materiál dlhú dobu. Kvantitatívne sa pevnosť vyjadruje napätím, pri ktorom sa poruší súdržnosť telesa – napätím na medzu pevnosti σ_p . Pevnosti dreva sa zisťujú prostredníctvom skúšok, kde sa sleduje sila v momente porušenia telesa. S ohľadom na smer pôsobiacej sily rozlišujeme:
 - A. pevnosť v tlaku v smere vlákien $\sigma_{p||}$
 - B. pevnosť v tlaku naprieč vláknami:
 - v smere radiálnom $\sigma_{p \text{ kolmo} - R}$
 - v smere tangenciálnom $\sigma_{p \text{ kolmo} - T}$

Základné druhy statickej pevnosti sú:

- pevnosť v ťahu - je odolnosť dreva proti pôsobeniu síl ťahajúce prierez a vnútorné sily pôsobia kolmo naň (sily sa snažia drevo predĺžiť),
- pevnosť v tlaku – kedy vonkajšie sily tlačia na prierez (sila, ktorá stláča drevo)
- Pevnosť v šmyku – nastáva v prípade, kedy sa výslednica síl snaží vzájomne posunúť susedné vlákna v ich rovinách, vzniká tangenciálne napätie, prierez sa posúva a drevo sa poruší šmyknutím,
- pevnosť v ohybe – je schopnosť dreva odolávať zaťaženiu v prípade, že je materiál v dvoch bodoch podporený a sila pôsobí v mieste mimo podpier. Pri ohybe vzniká na vonkajšej strane ohybu ťahové napätie a na vnútornej strane ohybu tlakové napätie.



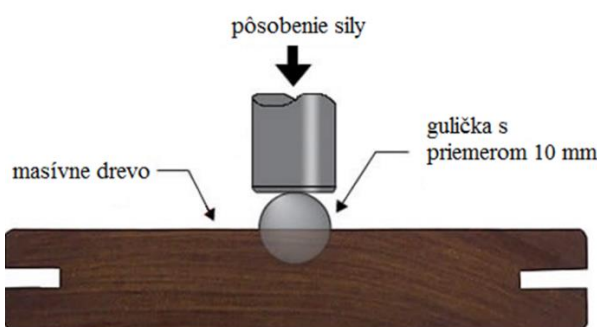
Obrázok 90 Meranie mechanických vlastností drevnej hmoty – skúška pevnosti na ohyb
(zdroj <http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>)

- pevnosť dreva vo vzpere – má význam pri dlhých a tenkých dielcoch, ktorých dĺžka je väčšia ako 12 – násobok hrúbky, na ktoré pôsobia sily v smere ich pozdĺžnej osi.
- b) **Dynamická pevnosť** dreva je jeho odpor voči sile pôsobiacej náhle v celej veľkosti alebo voči sile pôsobiacej dlhodobo rovnakou alebo premenlivou veľkosťou.
- húževnatosť je odolnosť dreva voči sile, ktorá pôsobí nárazom čiže dynamickému (rázovému) namáhaniu. Zisťujeme ju prerážacou skúškou. Veľkú húževnatosť majú dreviny jaseň, hrab, breza, buk. Dreviny s nízkou húževnatosťou sú smrek, jedľa, topoľ.
 - pevnosť na únavu je odolnosť dreva voči sile, ktorá:
 - pôsobí dlhodobo rovnakou veľkosťou,
 - s premenlivou intenzitou a veľkosťou,
 - s meniacim sa spôsobom namáhania

Tvrdosť dreva

Vyjadruje odpor, ktorý kladie povrch telesa proti vnikaniu iného telesa. U dreva sa stanovuje buď podľa Brinella alebo podľa Janka.

Tvrdosť podľa Janka využíva k meraniu oceľové razidlo zakončené pologuľatou plochou priemeru 11,284 mm, ktorá sa vtlačá do vzorky v smere vlákien do hĺbky 5,642 mm (vytvorí sa vtlačok s plochou 1 cm²). Sila vynaložená na vytlačenie vtlačku udáva priamo tvrdosť. Z našich drevín je najtvrdší hrab, tis, dub, jaseň, buk, hruška. Najmäkšie sú topoľ, vrbá, lipa, smrek, jedľa.



Obrázok 91 Meranie tvrdosti podľa Janka (zdroj, https://www.cdp-praha.cz/cms.php?id_cms=3)

3.6.10 Vlhkosť dreva

V dreve sa voda nachádza v dvoch formách, ako:

Voľná voda – nazývaná tiež kapilárna vyplňa dutiny buniek (lúmen), prípadne medzibunkové priestory. Množstvo voľnej vody v dreve sa pohybuje od bodu nasýtenia vlákien po úplne nasýtenie dreva vodou. Jej maximálne množstvo môže byť vyššie ako 100 %.

Viazaná voda - nazývaná aj hygroscopická sa nachádza v bunkových stenách a je viazaná vodíkovými väzbami.

Bezprostredne po spílení stromu sa začne obsah vody znižovať. Najprv sa odparuje voľná voda. Pri tomto procese nedochádza k žiadnym významným zmenám. Stav, kedy sa vyparí celý objem voľnej vody, je určený veličinou zvanou **medza (bod) nasýtenia bunkových stien**. V tomto okamihu má ešte drevo všetku vodu viazanú. Ako náhle sa začne vyparovať, dochádza k významným vplyvom na mnohé vlastnosti dreva. Voda sa vyparuje tak dlho, pokiaľ nenastane tzv. **stav vlhkostnej rovnováhy**. Tento stav je charakteristický tým, že určitej teplote a vlhkosti vzduchu zodpovedá určitá hodnota vlhkosti dreva (rovnovážna vlhkosť).

Vlhkosť dreva udáva množstvo vody v dreve vyjadrené v percentách. V praxi sa rozlišuje:

- **relatívna vlhkosť** - vyjadruje podiel vody v percentách z celkovej hmotnosti vzorky v čase merania. Nemôže nikdy dosiahnuť hodnotu 100 %.
- **absolútna vlhkosť dreva** - vyjadruje percentuálny podiel vody z hmotnosti absolútne suchého dreva. Tento parameter môže nadobúdať aj hodnoty vyše 100 %. Podľa vlhkosti možno drevo rozdeliť do niekoľkých skupín, v praxi rozlišujeme tieto stupne vlhkosti dreva (ŠKÁRA, 1996):

1. Mokré drevo - drevo uložené dlhodobo vo vode	viac ako 100 %
2. Surové drevo z čerstvo zoťatého stromu	50- 100 %
3. Vzduchosuché drevo sušené vzduchom v prírodných podmienkach	15-20 %
4. Drevo sušené v sušiarňach	8- 10 %
5. Absolútne suché drevo, sušené v sušiarňach	0 %

3.6.11 Meranie vlhkosti dreva

Pri rôznych technologických postupoch potrebujeme správne určiť a dodržiavať vlhkosť dreva alebo drevených výrobkov. K stanoveniu vlhkosti používame dve základné metódy:

- **Priame** – gravimetrická metóda spočívajúca v zisťovaní skutočnej vlhkosti dreva vážením. Tieto metódy zisťujú vlhkosť dreva a drevených kompozitných materiálov v širokom rozmedzí od 0 po ich maximálne nasýtenie vodou. Presnosť merania je dostačujúca pre výskumné, ale aj praktické použitie. Nevýhodou váhovej metódy je potreba zhotovenia vzorky a pomerne dlhý čas na získanie hodnoty vlhkosti.
- **Nepriame** – prostredníctvom elektrických vlhkomerov, hydrometrická metóda. Elektrické vlhkomery sú založené na princípe merania určitej elektrickej vlastnosti. Najčastejšie **elektrického odporu** alebo **vodivosti**, **kapacity** a **stratového činiteľa**.

Tabuľka 6 Najčastejšie typy elektrických vlhkomerov na meranie vlhkosti dreva

Typ elektrického vlhkomeru	Meraná veličina
Odporový	elektrický odpor
Kapacitný	permitivita
Absorpčný a mikrovlnný	stratový činiteľ
Impedančný	stratové číslo a permitivita

Vlhkomery predstavujú jednoduchý nástroj pre určenie obsahu vlhkosti dreva. Podľa výrobcu a použitia vlhkomeru môžeme merať vlhkosť rozmanitými spôsobmi.



Obrázok 92 Digitálny vlhkomer GHH 91 KK (zdroj, <http://www.portalpardubice.cz/ing-michal-koropec-ky-vlhkomery-dreva-ab-brookhuis/>)

Stanovenie objemovej hmotnosti dreva:

Meraním rozmerov a vážením telesa s prirodzenou vlhkosťou W zistíme jeho objem a hmotnosť.

Najčastejšie rozlišujeme tri rôzne objemové hmotnosti dreva v závislosti na vlhkosti:

- Objemová hmotnosť v suchom stave - hmotnosť objemovej jednotky úplne vysušeného dreva ($W = 0 \%$).
- Objemová hmotnosť pri vlhkosti $W = 12 \%$.
- Objemová hmotnosť pri vlhkosti W - hmotnosť objemovej jednotky dreva pri vlhkosti $W > 0 \%$.

Objemová hmotnosť dreva v suchom stave sa vypočíta podľa vzorca:

$$\rho_k = \frac{m_0}{V_{max}}$$

Kde m_0 hmotnosť dreva
 V_{max} objem dreva nad medzou hygroskopicity

3.6.12 Rezivo

Rezivo je drevený materiál získaný pozdĺžnym rezaním surového dreva. Podľa použitia sa delí na stavebné, nábytkárske atď. rezivo. Má hrúbku najmenej 10 mm a spravidla dve protiľahlé strany rovnobežné. Delí sa na:

- a) doskové rezivo - je rezivo s hrúbkou do 100 mm,
 - fošňa - druh doskového reziva s hrúbkou 40-100 mm,
 - doska - druh doskového reziva s hrúbkou 13-32 mm (ihličnaté drevo) alebo 16-35mm - (listnaté drevo),
- b) hranené rezivo - rezivo pravouhlého prierezu, ktoré sa podľa plochy priečneho prierezu delí na :
 - hranol - druh hraneného reziva s priečnym prierezom väčším ako 100 cm²,
 - hranolček - druh hraneného reziva s priečnym prierezom 25-100 cm²,
 - lata - druh hraneného reziva s priečnym prierezom 10-25 cm²,
 - lišta - druh hraneného reziva s priečnym prierezom menej ako 10 cm²,
- c) polohranené rezivo - je dvojstranne rezaným rezivom s oblými bokmi, delí sa na :
 - drevený podklad - druh polohraneného reziva s hrúbkou najviac 10 mm,
 - trám - druh polohraneného reziva s hrúbkou viac ako 100 mm,



Obrázok 93 Ukážka porezu kmeňa dreva (zdroj, http://www.rezbarstvo.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=126:stavba-dreva&catid=28:materialy&Itemid=51)

3.6.13 Konštrukčné materiály na báze dreva

V Európe je drevná hmota stále vzácnejšia a preto všetci spracovatelia vyvíjajú maximálnu snahu o čo najekonomickejšie využitie drevnej hmoty. Pri použití dreva v podobe masívneho reziva môžu byť zužitkované iba mohutnejšie stromy a z nich tiež len niektoré časti. Navyše, počas rastu stromu vznikajú v dreve rôzne nepravidelnosti, na základe ktorých nie je možné drevo veľakrát v masívnych prvkoch použiť.

Preto sa v súčasnosti vo veľkej miere produkujú materiály na báze triesok a vlákien. Ak sa teda drevná hmota rozdelí na menšie častice a tie sa opätovne spoja, možno vady a nedostatky dreva potlačiť a navyše využiť aj menšie časti stromov (napríklad tenké vetvy). Týmto spôsobom sa vyrába celý rad výrobkov na báze dreva, z ktorých mnohé môžu mať lepšie vlastnosti ako masívne drevo. Ich výhodou je vo všeobecnosti vysoko efektívne využitie drevnej hmoty, prevažne nízka objemová hmotnosť (okolo 500 kg.m^{-3}) pri vysokej pevnosti, ľahká opracovateľnosť a vyššiu odolnosť voči biologickým škodcom i požiarnej odolnosť ako má masívne drevo. V zásade však platí, že so zmenšujúcou sa veľkosťou častíc drevnej hmoty, použitej pri výrobe konštrukčného materiálu, sa zlepšuje možnosť ich formovania, čo spôsobuje zvyšovanie hustoty vyrábaného materiálu. Rovnako tiež platí, že u materiálov s rovnakou hustotou a zmenšujúcimi sa časticami drevnej hmoty, klesá pevnosť konštrukčných materiálov.

Veľkoplošné materiály na báze dreva rozdeľujeme na:

- Preglejšované drevné materiály - preglejky, latovky, biodosky, lepené vrstvené drevo,
- aglomerované materiály: drevovláknité a drevotrieskové dosky,
- ostatné drevné materiály - MDF, OSB dosky, Comply panely, Waferboard, Parallam, PSL (Parallel Strand Lumber), Microllam LVL, Intrallam LSL, OSL, Scrimber, Triboard a Superspan a iné.



Obrázok 94 Príklady konštrukčných materiálov na báze dreva

Preglejované konštrukčné materiály

Preglejky - sú to ploché kompozitné dosky, vyrobené zlepením väčšinou nepárneho počtu na seba navrstvených lúpaných dýh, ktorých drevné vlákna sú na seba kolmé. Vykazujú veľmi dobré mechanické vlastnosti. Sú vyrábané z listnatých a ihličnatých drevín (buk, breza, topol a smrek) alebo ich kombináciou podľa požiadaviek na pevnosť, odolnosť a hmotnosť. Podľa spôsobu použitia rozlišujeme:

- stavebné preglejky
- stolárske preglejky
- obalové preglejky
- špeciálne preglejky

Tvarová preglejka - popri vlastnostiach bežnej preglejky je tvarovaná pre potreby konkrétnych dielcov najčastejšie sedacieho nábytku.

Vlastnosti preglejok

Hlavnými prednosťami preglejok je, odstránenie anizotropného charakteru masívneho dreva a z toho vyplývajúce zabezpečenie dobrých mechanických vlastností vo všetkých smeroch aj pri použití pomerne tenkého materiálu (dná zásuviek, sedáky stoličiek). Ďalšou prednosťou tohto materiálu je zlepšenie tvarovej stability konštrukčného materiálu pri zmene vlhkosti prostredia. Preglejka sa bežne vyrába od 2 do 40 mm hrúbky. Použitím vhodného lepidla je možné zaistiť vysokú odolnosť lepených spojov, ktorý je možné ešte zvýšiť povrchovým náterom, prípadne nalisovaním (laminovaním) papierovej fólie impregnovanej vodovzdornou živicom. Tieto preglejky sa používajú ako debniaci materiál v stavebníctve.

Nepriaznivými faktormi u preglejok je potreba kvalitných vstupných surovín a pomerne prácna výroba a z toho plynúca vyššia cena.

Latovky

Latovka surová je konštrukčná doska určená pre ďalšie spracovanie (vyrobená obojstranným preglejovaním latovkového stredu lúpanými dyhami), najmä pre zalisovanie laminátov a dyhovanie okrasnými krájanými dyhami. Pre svoje vlastnosti sa uplatňujú pri výrobe dverí a na výrobu nábytku. Používané sú taktiež do regálových systémov, pre vnútorné, suché prostredie.

Vlastnosti latovky

Latovka má podobné vlastnosti ako preglejka, čiastočne eliminovaný anizotropný charakter, veľmi dobrú rovinnú stálosť a je zvyčajne lacnejšia ako preglejka rovnakých hrúbok. Jej najväčšou výhodou sú dobré pevnostné vlastnosti pri nízkej objemovej hmotnosti, rozmerová stabilita, možnosť pevného a jednoduchého spojenia konštrukčnými prvkami. Môže byť použitá na vnútorné alebo vonkajšie použitie.

Drevovláknitá doska

Výroba drevovláknitých dosiek je pomerne náročný technologický proces. Jeho základom je spracovanie drevnej hmoty do vláknitej štruktúry s využitím teploty, tlaku a následné lisovanie do veľkoplošného materiálu. Poznáme dva spôsoby lisovania drevovláknitej dosky:

- suchý výrobný proces,
- mokrý výrobný proces.

Suchý výrobný proces výroby DVD je energeticky menej náročný, pri ktorom je na mokré alebo u niektorých technológií aj na suché vlákno nanosené lepidlo a prídavné látky. Po usušení (vlhkosť 5 až 10 %) je tento materiál vrstvený na pás do koberca a postupne predlisovaný a zlisovaný. Používanie tohoto, dnes prevažujúceho spôsobu výroby, umožnil vývoj kvalitnej bezpečnej sušiarne vlákna a spôsob nanášania lepidla.

Poslednou výrobnou operáciou nasledujúcou po lisovaní je obojstranné brúsenie povrchu s cieľom egalizovať dosku na presnú hrúbku.

Výroba vláknitých dosiek úzko súvisí s výrobou papiera a vychádza z poznatkov získaných pri jeho výrobe. Prvý patent na vláknitú hmotu z papieroviny dostal v roku 1772 Angličan „Clay“. Začiatky priemyselnej výroby určitého druhu polotvrdej vláknitej dosky zo zberového papiera patria do roku 1898, keď v Sunbury (Anglicko) na tento účel použili papierenský stroj. Prvá izolačná vláknitá doska bola vyrobená v roku 1901 z drevoviny v štáte Minnesota (USA). Medzi vláknité dosky patria napríklad **MDF** (Medium Density fibreboard) a **HDF** (High Density fibreboard) dosky, ktoré sa používajú v nábytkárskom priemysle pre vnútorné použitie - ako obklady, chrbát skríň, dna zásuviek, imitácia parkiet. Hygienickou a ekologickou slabinou drevovláknitých dosiek je prítomnosť asi 8 – 12 % spojiva, ktoré obsahuje zvyškový formaldehyd a sťažuje likvidáciu odpadu spaľovaním.

Tabuľka 7 Pôsobenie formaldehydu na ľudský organizmus (WHO)

Fyziologické pôsobenie formaldehydu na organizmus	
Oblasti	Koncentrácia (mg/m ³)
Čuchový prah	
• veľmi citlivé osoby	0,06
• všeobecné platná medzná hodnota	0,15
• jasne vnímateľná medza	0,2
• na formaldehyd zvyknuté osoby	1
Dráždivý účinok na oči	
• veľmi citlivé osoby	od 0,15
• všeobecné	od 0,3
Dráždivý pocit v pažeráku	od 0,60
Zrýchlené dýchanie	od 1
Zreteľná nevoľnosť, pichanie v nose	od 2,50
Slzenie očí	od 5
Dýchacie problémy	od 12
Nebezpečie života	od 37
Spravidla smrteľná koncentrácia	60-125

Preto v súčasnej dobe dochádza k prepojeniu vlákien aktivovanými enzýmami. Ako spojivo vláknitých dosiek sú vhodné mäkké a rýchlo rastúce dreviny, obilná a repková slama, ľan a technické konope. Medzi drevovláknité dosky patrí tiež hobra, používaná na vyrovnávacie, tepelne a zvukovo izolačné obklady stien a podklady podláh.



Obrázok 95 Drevovláknitá MDF doska (zdroj, <http://www.norman.sk/velkoplosny-material/drevovlaknita-doska-mdf-/>)

Drevotriesková doska

Drevotriesková doska (TD) je plošne lisovaný doskový materiál vyrobený zo 100 % drevnej hmoty ihličnatých a listnatých drevín spájaných kvalitnou a zdravotne nezávadnou močovino-formaldehydovou živcou upravený brúsením alebo lamináciou. Podľa technológie výroby ich rozdeľujeme na:

- Plošne lisované – lisovací tlak pôsobí na plochu dosky a triesky sú prevažne orientované v rovinách rovnobežných s rovinou dosky.

- Výtlačne lisované – lisovací tlak pôsobí kolmo na čelo dosky a triesky sú orientované v rovinách kolmých na rovinu dosky.

Plošne lisované TD delíme na:

- jednovrstvové,
- trojvrstvové,
- viacvrstvové,
- graduované – s postupným prechodom jemných triesok na hornej ploche k hrubším trieskam na spodnej ploche dosky,
- dosky z orientovaných triesok - OSB (Oriented Strand Boards – dosky z orientovaných plochých triesok) sú viacvrstvové dosky vyrobené zlepením drevených triesok stanoveného tvaru a hrúbky. Triesky vo vnútorných vrstvách sú orientované rovnobežne s dĺžkou alebo šírkou dosky, triesky v stredovej vrstve môžu byť orientované náhodne alebo zvyčajne kolmo na lamely vnútorných vrstiev.



Obrázok 96 OSB doska pred a po lisovaní (zdroj, „OSB production“ od User:MatthiasKabel – Photographed by myself. and my mother. Licencováno pod CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons -

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:OSB_production.jpg#/media/File:OSB_production.jpg)

Východiskovou surovinou pre výrobu drevotrieskových dosák je odpad z stolárskych dielní, z piliarskej výroby, recyklované drevo a pod. Samotný proces prebieha v týchto etapách:

1. štiepkovanie,
2. roztrieskovanie,
3. triedenie (mechanicky alebo pneumatically),
4. domieľanie veľkých triesok,
5. sušenie triesok,
6. nanášanie lepidla,
7. tvarovanie trieskového koberca,
8. počiatočné lisovanie (sústavou valcov),
9. formátovanie koberca (2500x2500 mm),
10. lisovanie za zvýšenej teploty (cca 150 °C) a tlaku (cca 1,4MPa)

11. formátovanie vylisovaných dosiek (1220x2440 - formáty môžu byť rôzne)
12. klimatizácia dosiek (2-3 dni na hrebeňovom dopravníku v sklade, kde dozrieva)
13. ďalšie dokončovacie práce (brúsenie, vyspravenie väd, olepenie, ...)
14. balenie a expedícia

POUŽITÁ LITERATÚRA

BÖHM, M., REISNER, J., BOMBA, J., 2012, Materiály na bázi dreva. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dreva, Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 – Suchbát, ISBN 978-80-213-2251-6

BŘÍŽĎALA, J. Syntetické makromolekulární látky. [online]. Dostupné z: http://www.chemweb.info/Study/3/Synteticke_makromolekularni_latky.pdf.

FÜRBACHER, I., MACEK, K., STEIDL, J.: Lexikon technických materiálů. Verlag Dashöfer <http://sparc.fpv.umb.sk/~budzak/Elektrochem/Elektrochemia/ELYZA/elektrorefinacia.html>

KRÁLOVIČ, M. – RUMAN, D. – VACEK, V.: Perspektívne materiály na báze dreva ako konštrukčné prvky v stavebníctve. In: Realizácie a ekonomika stavieb, Zborník z konferencie, Dom techniky ZSTVS Košice, 2006, ISBN 80-232-0261.

MOLLIKOVÁ, Eva. ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ A VÝROBKŮ [online]. 2005 [cit. 2010-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/zmv/Index.html>>.

NEMEC, Ľ. - ŠULÁN, E. - ZEMIAR, J. (1986): Technológia výroby nábytku. SNTL Praha, ALFA Bratislava

POŽGAJ, A. - CHOVANEC, D. - KURIATKO, S. - BABIAK, M. (1993): Štruktúra a vlastnosti dreva. PRÍRODA a.s. Bratislava,

RÉH, R.: Nové trendy vo vývoji a použití kompozitných drevných materiálov pre stavebníctvo. Zborník prednášok z Dňa transferu technológií v oblasti spracovania a využitia drevnej suroviny s dôrazom na jej využitie v stavebníctve. Žiar nad Hronom, 23. jún 1999, ISBN 80-228-0826-1.

Slovnaftar. Z histórie plastov. Aktualizované 11-22-2007 [cit. 2006-04-04]. Dostupné na internete:< http://www.slovnaft.sk/slovnaftar/2001_0_1.pdf>.

SZOCISOVÁ, Z. Prvky s - štruktúra, vlastnosti a zlúčeniny [on-line]. [cit. 2009.09.22]. Dostupné na internete: http://www.oskole.sk/?id_cat=53&rocnik=4&clanok=693

ŠTEFKA, V.: Kompozitné drevné materiály. Časť II. Technológia aglomerovaných materiálov (skriptá). Vydavateľstvo TU Zvolen, 2007, 204 s. ISBN 80-228-1705-8.

ŠTEFKA, V. – IŽDINSKÝ, J.: Nové tendencie v technológii výroby drevných aglomerovaných materiálov. Zborník z odborného seminára Drevo – Les 2005, Nitra, 2005.

VONDRUŠKA, V.: Sklářství. Praha: Grada Publishing, 2002. 273 s.

Dostupné na internete: <
<http://server.gphmi.sk/pages/kabinety/kabchem/texty/kovy.pdf>>.

Dostupné na internete:< <http://www.strojarskatechnologia.info/24-spracovanie-plastov/>>.

Dostupné na internete:<
http://www.sjf.tuke.sk/inmf/multimedialna_vyucba/PM/Prednasky/Kompozity_s_km.doc>.

Dostupné na internete:< http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/teoria_kompozity.pdf>.

Dostupné na internete:<
<http://www.ped.muni.cz/wtech/petrik/pracestechnickymimaterialy/kompozity/cojsoukompozity.html>>.

Dostupné na internete:< <http://www.vyrobazeleza.wz.cz/simulacie.htm>>.

Dostupné na internete:<
<https://www.scribd.com/doc/46201870/1/%C5%A0TRUKTURA-A-VLASTNOSTI-TECHNICK%C3%9DCH-MATERIALOV>>.

Dostupné na internete:< http://ebook.veda-hrou.cz/foto/a2b6dfc437a7b709b70bfd766251c37d_v.jpg>.

Dostupné na internete:< <http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/Nastrojove-ocle-teoria.pdf>>.

Dostupné na internete:<
http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_06_Tep_spracovanie_z%C3%A1kl_materi%C3%A1lu_a_zvar_spoja.pdf>.

Dostupné na internete:<
http://planetavedomosti.iedu.sk/page.php/resources/view_all?id=elektricky_prud_elektronova_konfiguracia_identifikacia_kovov_kovova_vazba_kovy_kujne_periodicka_sustava_povaaha_kovovej_vazby_prvky_tazne_teplo_umiestnenie_u>.

Dostupné na internete:< http://www.strojarina.jecool.net/?page_id=13>.

Dostupné na internete:< http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html

Dostupné na internete:< <https://www.youtube.com/watch?v=b3BOMfH7Dbc>>.

Dostupné na internete:< http://www.vyrobazeleza.wz.cz/simulacie/animacia_1.swf

Dostupné na internete:< <http://zlato-drahokamy.blogspot.sk/search/label/Vyu%C5%BEitie%20zlata>>.

Dostupné na internete:< <https://www.youtube.com/watch?v=5VUZlvEho2M>>.

Dostupné na internete:< <https://www.youtube.com/watch?v=7Z90OZ7C2jl>>.

Dostupné na internete:< <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=531>>.

Dostupné na internete:< <http://praceskovmi.sk/hlinik-tazba-spracovanie-a-jeho-vyuzitie/>>.

Dostupné na internete:< <https://www.youtube.com/watch?v=22R3sp5CdcA&x-yt-ts=1422579428&x-yt-cl=85114404>>.

Dostupné na internete:< <https://www.youtube.com/watch?v=HtblsRGmoVc>>.

Dostupné na internete:< <http://www.sklarskauniverzita.sk/2013/12/historia-skla-i-do-19-storocia/>>.

Dostupné na internete:< <http://www.askpcr.cz/o-skle/jak-se-sklo-vyrabi/>>.

Dostupné na internete:< <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/sklo.html>>.

Dostupné na internete:< <http://www.oxur.eu/drevene-domy/drevo-ako-material/>>.

Dostupné na internete:
<http://server.gphmi.sk/pages/kabinety/kabchem/texty/kovy.pdf>

Dostupné na internete:<<http://www.strojarskatechnologia.info/24-spracovanie-plastov/>>

Dostupné na internete:<http://www.sjf.tuke.sk/inmf/multimedialna_vyucba/PM/Prednasky/Kompozity_s_km.doc>

Dostupné na internete:<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/teoria_kompozity.pdf>

Dostupné na internete: <http://www.ped.muni.cz/wtech/petrik/pracestechnickymimaterialy/kompozity/cojsoukompozity.html>

Dostupné na internete: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>

Dostupné na internete: <http://www.vyrobazeleza.wz.cz/simulacie.htm>

Dostupné na internete: <https://www.scribd.com/doc/46201870/1/%C5%A0TRUKTURA-A-VLASTNOSTI-TECHNICK%C3%9DCH-MATERIALOV>

Dostupné na internete: http://ebook.veda-hrou.cz/foto/a2b6dfc437a7b709b70bfd766251c37d_v.jpg

Dostupné na internete: <http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/02/Nastrojove-ocela-teoria.pdf>

Dostupné na internete: Dostupné na internete: http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_06_Tep_spracovanie_z%C3%A1kl_materi%C3%A1lu_a_zvar_spoja.pdf

Dostupné na internete: http://planetavedomosti.iedu.sk/page.php/resources/view_all?id=elektricky_prud_elektronova_konfiguracia_identifikacia_kovov_kovova_vazba_kovy_kujne_periodicka_sustava_povaaha_kovovej_vazby_prvky_tazne_teplo_umiestnenie_u

Dostupné na internete: http://www.strojarina.jecool.net/?page_id=13

Dostupné na internete: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html

Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=b3BOMfH7Dbc>

Dostupné na internete: http://www.vyrobazeleza.wz.cz/simulacie/animacia_1.swf

Dostupné na internete: <http://zlato-drahokamy.blogspot.sk/search/label/Vyu%C5%BEitie%20zlata>

Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=5VUZlvEho2M>

Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=7Z90OZ7C2jl>

Dostupné na internete: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=531>

Dostupné na internete: <http://praceskovmi.sk/hlinik-tazba-spracovanie-a-jeho-vyuzitie/>

Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=22R3sp5CdcA&x-yt-ts=1422579428&x-yt-cl=85114404>

Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=HtbIsRGmoVc>

Dostupné na internete: <http://www.sklarskauniverzita.sk/2013/12/historia-skla-i-do-19-storocia/>

Dostupné na internete: <http://www.askpcr.cz/o-skle/jak-se-sklo-vyrabi/>

Dostupné na internete: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/sklo.html>

Dostupné na internete: <http://www.oxur.eu/drevene-domy/drevo-ako-material/>

Dostupné na internete: <http://www.materialing.com/vazby>

Dostupné na internete: http://mpc-edu.sk/shared/Web/OPSOSO%20I.%20kolo%20vyzvy%20na%20poziciu%20Odborny%20pora-dca%20vo%20vzdelavani/1_OPS_Jencova%20Ludmila%20-%20Rastlinne%20organy.pdf

Dostupné na internete: <http://www.umms.sav.sk/index.php?ID=365>