

REPUBLIKA HRVATSKA
VISOKO GOSPODARSKO UČILIŠTE U KRIŽEVCIMA

mr.sc. Miodir Stojnović, viši predavač
OSNOVE POLJOPRIVREDNOG STROJARSTVA
STROJNI MATERIJALI - METALI
Pisana predavanja

KRIŽEVCI, 2013.

1. UVOD

Poljoprivredno strojarstvo je grana strojarstva koja obuhvaća konstruiranje, proizvodnju, korištenje i održavanje poljoprivrednih strojeva, uređaja i opreme za sva područja poljoprivredne proizvodnje. Upravo je razvoj poljoprivrednih strojeva i njihova primjena u poljoprivredi omogućila ubrzan tehnološki razvoj i modernizaciju te najstarije grane čovjekove djelatnosti.

Strojarstvo se oslanja na brojne bazične teorijske i primijenjene znanstvene discipline, kao što su matematika, fizika, kemija, elektrotehnika i računarstvo, ali i na neke društvene znanosti, kao što su ekonomija, psihologija, sociologija.

Primjena strojeva u poljoprivredi znatno olakšava izvođenje raznih tehnoloških procesa, smanjuje udio ljudskog rada, povećava proizvodnost i kvalitetu obavljenog posla. No, u poljoprivrednom strojarstvu moraju se uzeti u obzir određene specifičnosti poljoprivredne proizvodnje, kao što su:

- Sezonski karakter bilinogojске proizvodnje – sezonsko korištenje strojeva
- Promjenljivost klimatskih i edafskih čimbenika
- Aplikacija rada strojeva na žive organizme u bilinogojstvu i zootehnici.

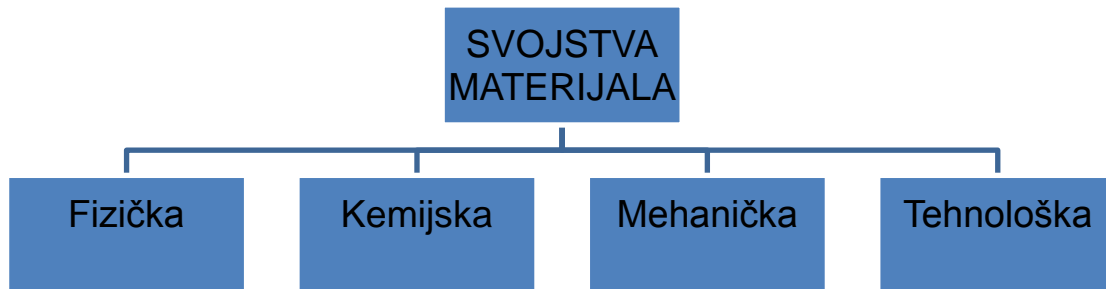
Zbog navedenih specifičnosti, korištenje poljoprivrednih strojeva vezano je na određene vremenske – agrotehničke rokove , kao i na neujednačene radne uvjete uslijed promjenljivih klimatskih i edafskih čimbenika. Nepovoljni uvjeti klime i tla mogu čak onemogućiti korištenje i rad strojeva (kiša, vjetar, raskvašeno, blatno tlo i sl.).

Usvajanje znanja i vještina iz područja poljoprivrednog strojarstva jedan je od preduvjeta za uspješno bavljenje poljoprivrednom proizvodnjom, pa tako i za stručnost i kompetentnost budućih poljoprivrednih inženjera – prvostupnika.

2. STROJNI MATERIJALI

Strojni materijali su svi materijali koji se koriste u gradnji strojeva, uređaja i alata, a svojim svojstvima udovoljavaju njihovoj namjeni, predviđenim napreznjima tijekom eksploatacije, kao i predviđenom eksploatacijskom vijeku stroja.

Svojstva materijala bitan su čimbenik kod izbora materijala za strojogradnju, a mogu se podijeliti u četiri grupe:



Slika 1: Shematski prikaz svojstava materijala

2.1 Fizička svojstva materijala

Odnose se na strukturu materijala. Tu ubrajamo:

- Boju
- Gustoću (specifičnu težinu)
- Toplinsku vodljivost i rastezljivost
- Specifičnu toplinu
- Talište, vrelište
- Električna i magnetska svojstva...

Boja materijala ovisi o sastavu i stanju površine. O tome ovisi koje će boje sunčevog spektra upiti, a koje odbiti. Materijal koji upija sve boje sunčevog svjetla je crne boje, a koji odbija sve boje sunčevog spektra je bijele boje, materijal koji upija sve boje sunčevog spektra osim zelene, koju odbija, bit će zelene boje itd.

Gustoća (specifična težina - ρ , γ) je težina 1 dm³ nekog materijala, izražena u kg, ili 1 cm³ izražena u g ili 1 m³ izražena u t (kg/dm³, g/cm³, t/m³).

Toplinska vodljivost je svojstvo materijala da bolje ili lošije provodi toplinu. Mjeri se koeficijentom toplinske vodljivosti – λ (W/mK).

Koeficijent toplinskog rastezanja (α , β) određuje odnos širenja ili skupljanja materijala uslijed povećanja ili smanjenja topline materijala. Takvo širenje materijala naziva se toplinska dilatacija i važno je kod konstrukcija koje rade pri povišenim temperaturama (klipovi, zupčanici i sl.).

Specifična toplina (c , c_p , c_v) je količina topline koju je potrebno predati jedinici mase neke tvari da bi promijenila temperaturu za jedinični iznos (J/kgK).

Talište je temperatura kod koje neka tvar prelazi iz krutog u tekuće stanje.

Vrelište je temperatura kod koje neka tvar prelazi iz tekućeg u plinovito stanje.

Električna vodljivost (G) je svojstvo materijala da bolje ili lošije provodi električnu struju i predstavlja recipročnu vrijednost električnom otporu, a mjeri se u Siemensima (Sm). Specifična električna vodljivost je vodljivost po jedinici presjeka vodiča (Sm/mm²).

Magnetska svojstva karakteriziraju ponašanje materijala u magnetskom polju.

2.2 Kemijska svojstva materijala

Odnose se na ponašanje materijala u kemijskim promjenama. To su:

- **Afinitet** – sklonost nekog kemijskog elementa da se veže s drugim kemijskim elementom, npr. afinitet većine metala prema kisiku uvjetuje da se u prirodi oni najčešće nalaze u oksidnom obliku.
- **Korozija** – razaranje metala pod utjecajem sredine koja ga okružuje, a može biti kemijska i elektro-kemijska.
- **Vatrootpornost** – otpornost materijala na djelovanje visokih temperatura.
- **Kemijska otpornost** – otpornost materijala na kemijske utjecaje (kisljine, lužine).

2.3 Mehanička svojstva materijala

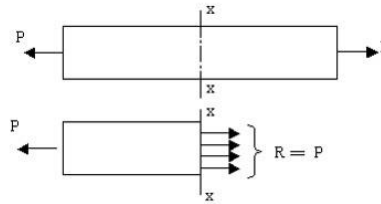
Mehanička svojstva nam ukazuju na ponašanje materijala u uvjetima djelovanja različitih vanjskih opterećenja, naprežanja. Tu ubrajamo:

- Čvrstoća
- Elastičnost
- Rastezanje
- Žilavost
- Puzavost
- Tvrdoća
- Otpornost prema zamoru...

Čvrstoća je otpornost materijala protiv djelovanja sile koje nastoje izazvati promjenu oblika.

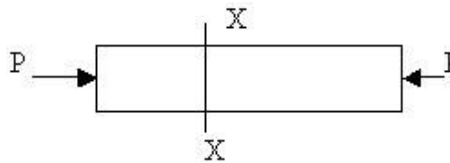
Prema načinu opterećenja (djelovanja vanjske sile) razlikujemo:

- Čvrstoću na vlak



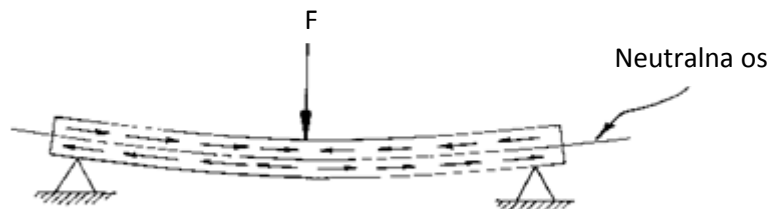
Slika 2: Opterećenje na vlak

- Čvrstoću na tlak



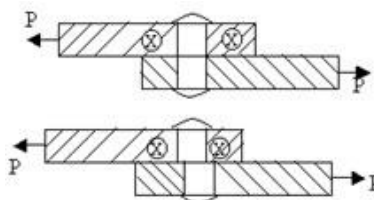
Slika 3: Opterećenje na tlak

- Čvrstoću na savijanje



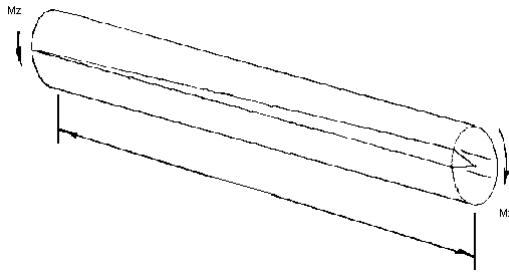
Slika 4: Opterećenje na savijanje

- Čvrstoću na odrez (smik)



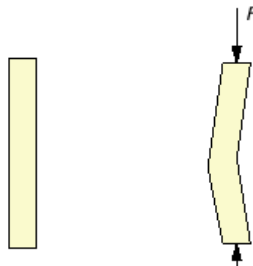
Slika 5: Opterećenje na odrez

- Čvrstoću na torziju (sukanje, uvijanje)



Slika 6: Opterećenje na torziju

- Čvrstoću na izvijanje



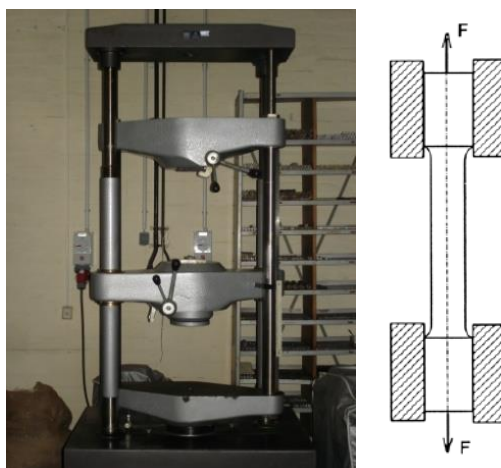
Slika 7: Opterećenje na izvijanje

Opterećenje definiramo kao djelovanje sile na cijelu površinu presjeka radnog elementa, a označavamo ga simbolom F , [N]. Opterećenje svedeno na jedinicu površine presjeka nazivamo **naprezanje** – σ , [N/mm²].

Ako sila djeluje mirno, bez promjene smjera i veličine, onda govorimo o **statičkom opterećenju**, a ako sila mijenja svoju veličinu, ili i veličinu i smjer djelovanja, onda govorimo o **dinamičkom opterećenju**, koje može biti:

- Promjenljivo (sila se mijenja po veličini)
- Titrajno (sila mijenja veličinu i smjer djelovanja)
- Udarno (sila djeluje trenutno).

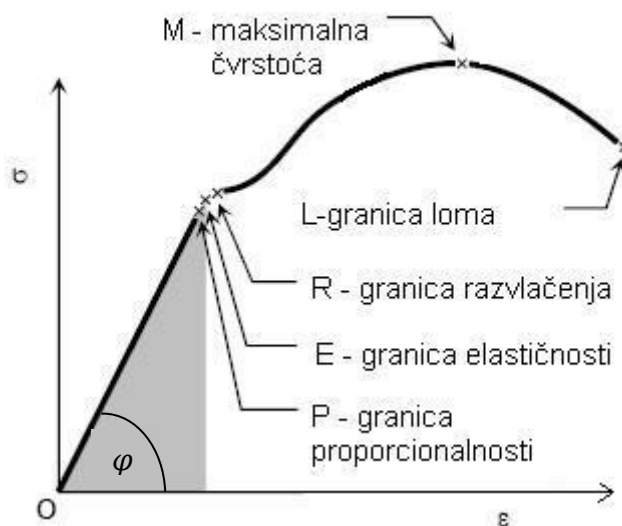
Čvrstoća materijala određuje se **vlačnim pokusom**, za što se koristi „epruveta“ ili „probna palica“ koja se stavlja u kladalicu i zatim opterećuje postupno sve većom silom na razvlačenje, dok ne dođe do loma (sl.8).



Slika 8: Kidalica (uređaj za određivanje vlačne čvrstoće materijala) i probna palica

Rezultati vlačnog pokusa prikazuju se u indikatorskom dijagramu iz kojeg se iščitava čvrstoća materijala na vlak, pri čemu su karakteristične točke u dijagramu (sl. 9):

- granica proporcionalnosti
- granica elastičnosti
- granica razvlačenja
- maksimalna čvrstoća
- lomna čvrstoća



Slika 9: Indikatorski dijagram – dijagram istezanja materijala

Čvrstoća se određuje prema izrazu:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Prema **Hookeovom zakonu**, koji vrijedi u području proporcionalnosti, produženje materijala pri vlačnom opterećenju proporcionalno je sili F i početnoj dužini l_0 , a obrnuto proporcionalno početnom presjeku A_0 i modulu elastičnosti E („Youngov modul“ ili „modul elastičnosti materijala“, ili „koeficijent proporcionalnosti“), prema izrazu:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{A_0 \cdot E} / \div l_0 \Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \Rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon$$

Modul elastičnosti može se izraziti i kao tangens karakterističnog kuta φ pod kojim ide krivulja određenog materijala u dijagramu istezanja u području proporcionalnosti (sl.9).

$$E = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Vrijednosti modula elastičnosti za neke materijale prikazane su u tablici 1.

Tablica 1: Modul elastičnosti, granica razvlačenja i maksimalna čvrstoća materijala

Materijal	E [N/mm ²]	σ_R [N/mm ²]	σ_m
Aluminij	70×10^3	120-170	130-180
Meki bakar	125×10^3	40-70	210-240
Lijevano željezo	130×10^3	-	-
Konstruktivski čelik	210×10^3	230	290
Nisko legirani čelik	210×10^3	650	650-700
Krom-čelik	210×10^3	450	600-750
Nehrđajući čelik	203×10^3	250	-

Produljenje epruvete Δl uslijed djelovanja sile može se odrediti prema sljedećem izrazu:

$$\Delta l = l_1 - l_0 \text{ [mm]}$$

$$l_0 = \text{početna duljina [mm]}$$

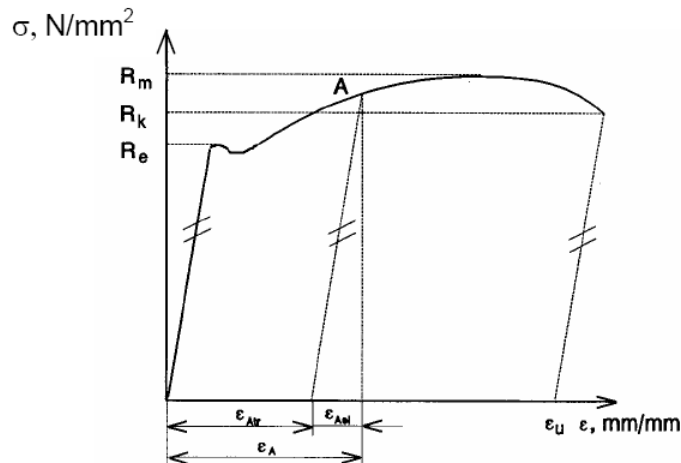
$$l_1 = \text{završna duljina [mm]}$$

Relativno produljenje ε predstavlja produljenje u odnosu na početnu duljinu.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \text{ [mm/mm]}$$

Postotno relativno produljenje δ je relativno produljenje izraženo u postocima.

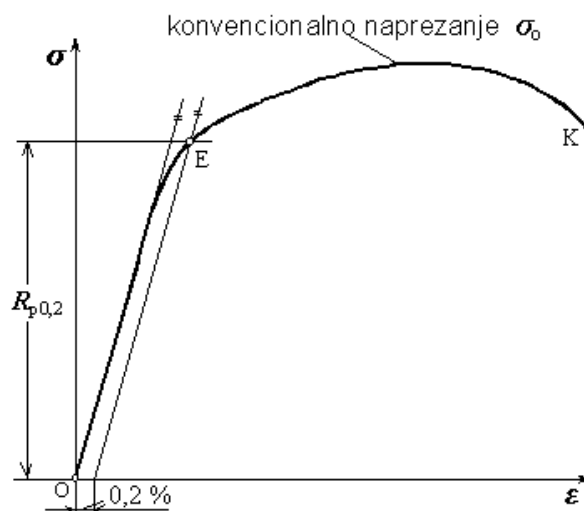
$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100 \text{ [%]}$$



Slika 10: Trajna deformacija epruvete

Opterećenje epruvete iznad granice razvlačenja ostavlja nakon rasterećenja trajnu deformaciju koja se umanjuje za iznos elastične deformacije (slika 10).

Konvencionalna granica razvlačenja je dogovorena granica razvlačenja za materijale koji nemaju jasan prijelaz iz područja elastičnosti u područje plastičnosti, a predstavlja naprezanje koje ostavlja trajnu plastičnu deformaciju od 0,2% (slika 11).



Slika 11: Konvencionalna granica razvlačenja

Prilikom vlačnog pokusa epruveta se uslijed opterećenja isteže, ali i stanjuje. Ta se pojava naziva **poprečna dilatacija** – ε_p (relativno poprečno smanjenje promjera uslijed istezanja). Poprečna dilatacija određuje se računski na osnovi relativnog produljenja ε i Poissonovog koeficijenta μ dobivenog eksperimentalnim putem za različite materijale, prema izrazu:

$$\varepsilon_p = \mu \cdot \varepsilon$$

Poprečna dilatacija može se izraziti kao omjer stanjenja epruvete Δd i početnog promjera d_0 .

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta d}{d_0} \Rightarrow$$

$$\Delta d = d_0 \cdot \varepsilon_p \text{ [mm]}$$

Stanjenje epruvete Δd predstavlja razliku početnog i završnog promjera epruvete, te se iz tog izraza može izračunati završni promjer.

$$\Delta d = d_0 - d_1 \Rightarrow$$

$$d_1 = d_0 - \Delta d \text{ [mm]}$$

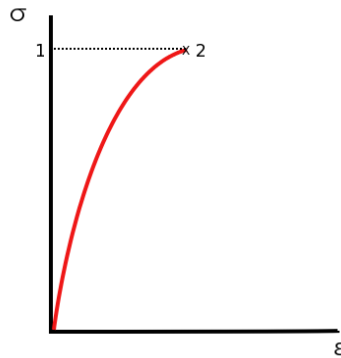
Dozvoljeno naprezanje – σ_d predstavlja stvarno maksimalno naprezanje koje se može dozvoliti za neki materijal, a da ne dođe do trajne deformacije i loma. Ono mora biti ispod granice elastičnosti i bitno je za pravilno dimenzioniranje konstruktivnih strojnih elemenata.

Stupanj sigurnosti – ν predstavlja odnos između maksimalne čvrstoće σ_m , granice loma σ_L ili granice elastičnosti σ_E i dozvoljenog napreznja σ_d .

$$\nu_m = \frac{\sigma_m}{\sigma_d} = \mathbf{3 - 20} ; \nu_L = \frac{\sigma_L}{\sigma_d} = \mathbf{2 - 10} ; \nu_E = \frac{\sigma_E}{\sigma_d} = \mathbf{1,5}$$

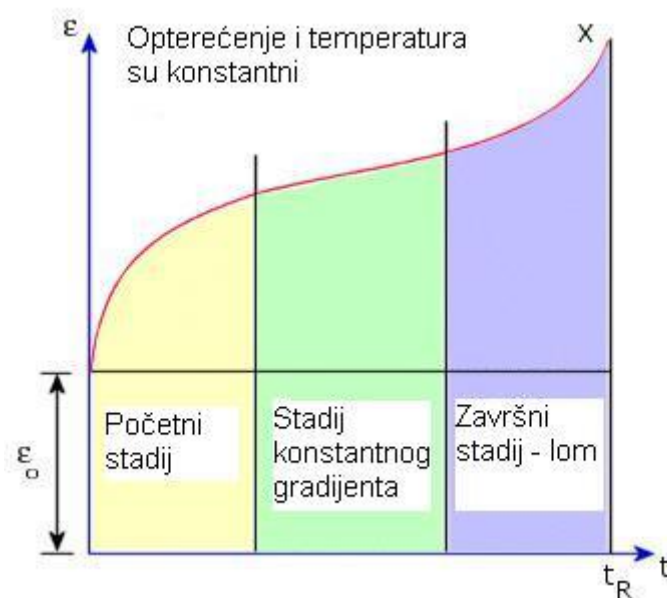
Elastičnost je sposobnost materijala da se pod utjecajem vanjskog opterećenja deformira, a nakon rasterećenja vrati u prvobitni oblik. Granica elastičnosti materijala nam ukazuje do koje mjere se može opteretiti, a da ne dođe do trajne deformacije. Područje elastičnosti materijala važno je za konstrukcije, tj. za dimenzioniranje strojnih dijelova, budući da dozvoljeno naprezanje ne smije prelaziti granicu elastičnosti.

Rastezanje (istezljivost) je promjena dimenzija nekog strojnog dijela pod utjecajem vanjskog opterećenja. Materijali koji nisu istežljivi su **krti (krhki)** i kod većih opterećenja pucaju bez veće prethodne deformacije.



Slika 10: Dijagram istezanja krhkog materijala

Puzavost je svojstvo materijala da nakon dugotrajnog statičkog opterećenja ostane trajno deformiran, usprkos činjenici da opterećenje nije prelazilo granicu elastičnosti. Puzavost je više izražena pri povišenim radnim temperaturama.



Slika 11: Tipična krivulja puzavosti

S puzavošću je povezan i pojam **statičke izdržljivosti** materijala, koja predstavlja otpornost na dugotrajno statičko opterećenje pri određenim (radnim) temperaturama, koje ima za posljedicu **lom**. S porastom temperature smanjuje se statička izdržljivost, tj. prije dolazi do loma.

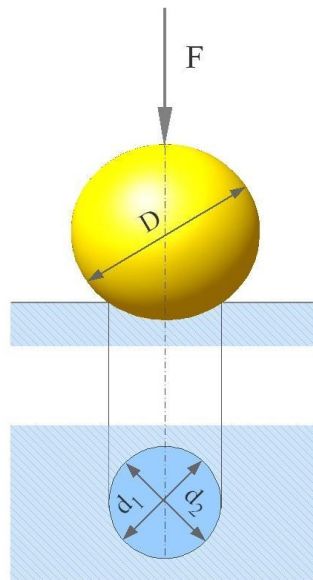
Primjer označavanja puzavosti materijala:

$\sigma^{300}_{0,1/1000}$ – naprezanje pri kojem će uz temperaturu od 300 °C nastati trajna deformacija od 0,1 % nakon 1000 sati rada.

Tvrdoća materijala je mehaničko svojstvo materijala da se odupre zadiranju stranog tijela u njegovu površinu. Određuje se statičkim i dinamičkim metodama. Statičke metode su Brinellova, Vickersova i Rockwellova, a dinamičke Shoreova i Poldieva metoda.

Brinellova metoda

Temelji se na utiskivanju zakaljene čelične kuglice standardnog promjera D (10, 5, 2,5, 2 i 1 mm) u vremenu od 10-15 sekundi silom F , ovisno o promjeru kuglice, nakon čega se mjeri promjer i dubina kalote (utisnuća) te se računski određuje površina kalote. Omjer sile F kojom se utiskuje kuglica i površine kalote S predstavlja tvrdoću po Brinellu.

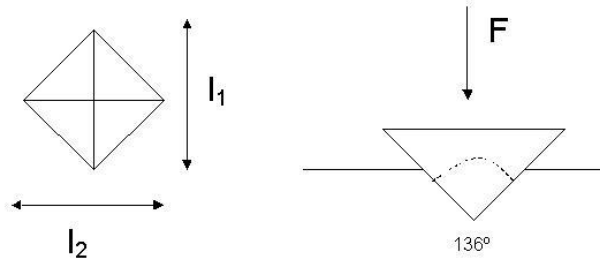


Slika 12: Brinellova metoda određivanja tvrdoće

$$HB^{\circ} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Vickersova metoda

Provodi se utiskivanjem penetratora s dijamantnim vrškom u obliku 4-strane piramide vršnog kuta 136° određenom silom F (10, 50, 100, 200, 300, 500 i 1200 N) u površinu probnog uzorka, nakon čega se mjere dijagonale otiska. Tvrdoća je omjer sile i površine otiska.



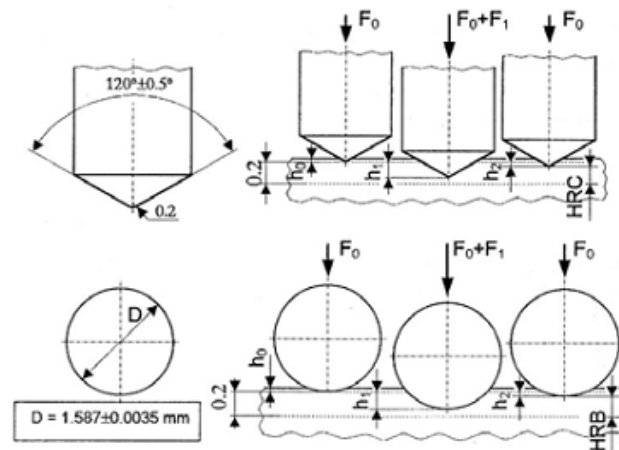
$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{0.1891F}{d^2}$$

Slika 13: Vickersova metoda određivanja tvrdoće

Prednost Vickersove metode je u mogućnosti mjerenja tvrdoće i najtvrdih materijala (Brinellova metoda je ograničena tvrdoćom zakaljene kuglice), te u malim silama utiskivanja koje ostavljaju minimalan trag u površini uzorka, tako da nije potrebna veća debljina uzorka.

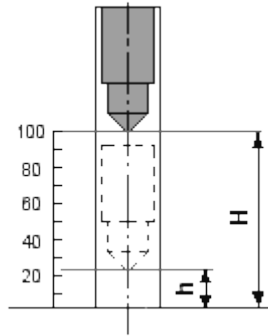
Rockwellova metoda

Tvrdoća se Rockwellovom metodom određuje utiskivanjem penetratora s dijamantnim vrškom u obliku stošca vršnog kuta 120° (za tvrde materijale), ili čelične kuglice (za mekše materijale) te se označava s HR_c (dijamantni stožac) odnosno HR_b (čelična kuglica).



Slika 14: Rockwellova metoda određivanja tvrdoće

Shoreova metoda je dinamička metoda koja se temelji na puštanju batića određene mase (2,5 g) da padne s određene visine (254 mm) kroz staklenu cijev uređaja koji se naziva **skleroskop** na površinu probnog uzorka. Visina odskoka, uslijed elastičnosti, je mjerilo tvrdoće materijala i očitava se na skali skleroskopa. Što je veći odskok, to je veća tvrdoća.



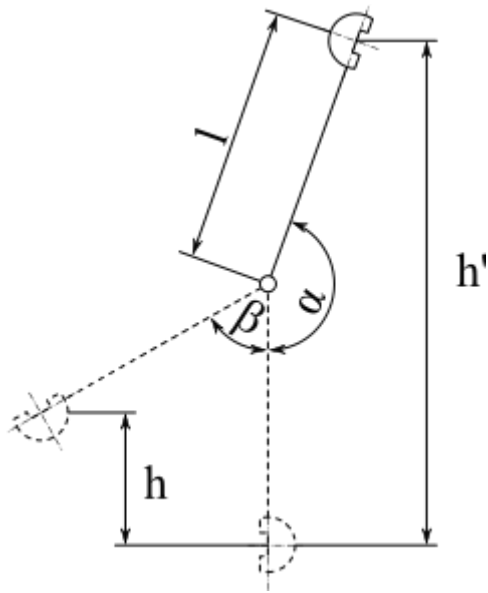
Slika 15: Tvrdća po Shoreu

Poldijeva metoda je također dinamička metoda kojom se utvrđuje tvrdoća materijala na principu udarne sile koja se nanosi ručno čekićem, a prenosi preko Brinellove čelične kuglice promjera 10 mm na uzorak i standardnu kalibriranu ploču mjernog uređaja. Usporedbom otiska na standardnoj ploči i uzorku određujemo tvrdoću, koju očitavamo iz konverzijskih tablica po Brinellu.



Slika 16: Poldijev mjerni instrument

Žilavost je dinamičko svojstvo otpornosti materijala na udarna opterećenja, tj. sposobnost za deformaciju u uvjetima udarnog opterećenja. Ispituje se Charpy-evom metodom tj. pomoću tzv. Charpy-evog bata. Postupak se provodi prelamanjem epruvete kvadratnog presjeka dimenzija 10x10x55 mm slobodnim puštanjem bata te se na temelju početnog i završnog položaja bata i mase bata izračunava rad potreban za lom epruvete. Žilavost se mjeri kao utrošeni rad po jedinici površine presjeka epruvete.



Slika 17: Charpyev bat

$$W = W_1 - W_2 = G \cdot h' - G \cdot h [J]$$

$$\rho = \frac{W}{A} \left[\frac{J}{mm^2} \right]$$

G = težina bata [N]

h' = početna visina bata [m]

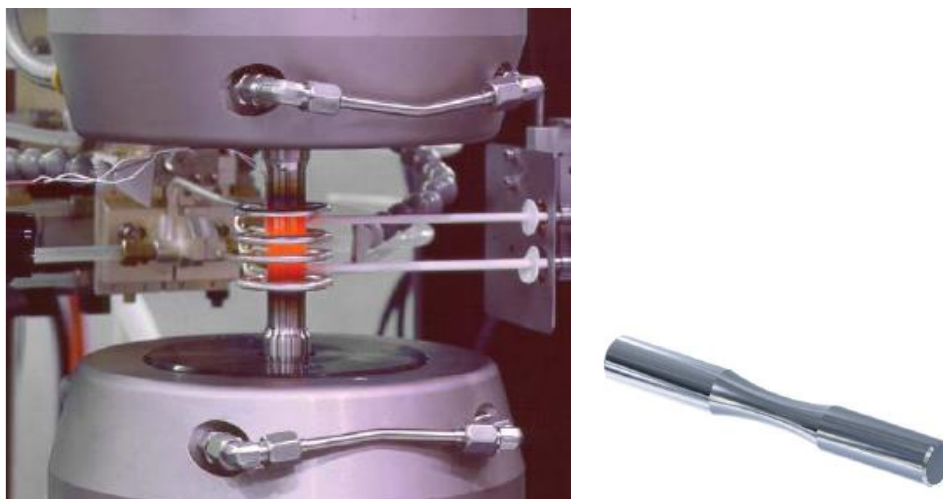
h = završna visina bata [m]

W = radnja potrebna za lom epruvete [J]

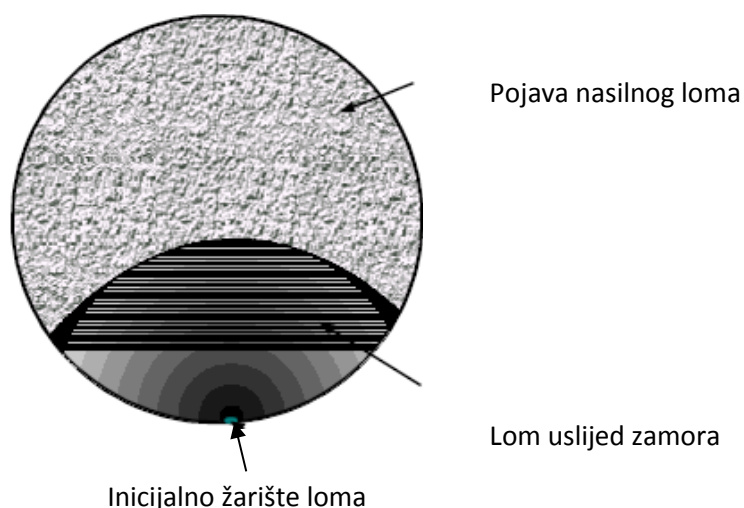
ρ = žilavost [J/mm^2]

A = površina presjeka epruvete [mm^2]

Zamor materijala (otpornost na zamor, dinamička čvrstoća) je pojava loma uslijed dugotrajnog dinamičkog udarnog opterećenja. Ispituje se pomoću tzv. **umaralica** – uređaja na kojima se epruvete materijala podvrgavaju udarcima do loma, a počinje se s većim opterećenjem prema manjem, pri čemu se broje udarci do loma. Smanjenjem opterećenja povećava se broj udaraca do loma. Rezultati se prikazuju u tzv. Woehlerovom dijagramu.



Slika 18: Umaralica (pulsator) i epruveta za ispitivanje zamora pri povišenim temperaturama



Slika 19: Karakterističan izgled površine loma uslijed zamora materijala

2.4. Tehnološka svojstva materijala

Tehnološka svojstva materijala odnose se na mogućnost obrade materijala. Tu ubrajamo:

- Obradu odvajanjem čestica
- Obradu bez odvajanja čestica
- Obradu s mogućnošću spajanja

Obrada odvajanjem čestica odvija se u području **klonulosti** u dijagramu istezanja materijala (između granice maksimalne čvrstoće M i granice loma L, vidi σ - ϵ dijagram). Tu ubrajamo:

- Tokarenje
- Glodanje
- Bušenje
- Brušenje
- Turpijanje...

Obrada bez odvajanja čestica (bez strugotina) odvija se u području **plastičnosti** u σ - ϵ dijagramu, između granice elastičnosti E i maksimalne čvrstoće M. Tu ubrajamo postupke obrade kao što su:

- Lijevanje
- Kovanje
- Prešanje
- Savijanje
- Izvlačenje...

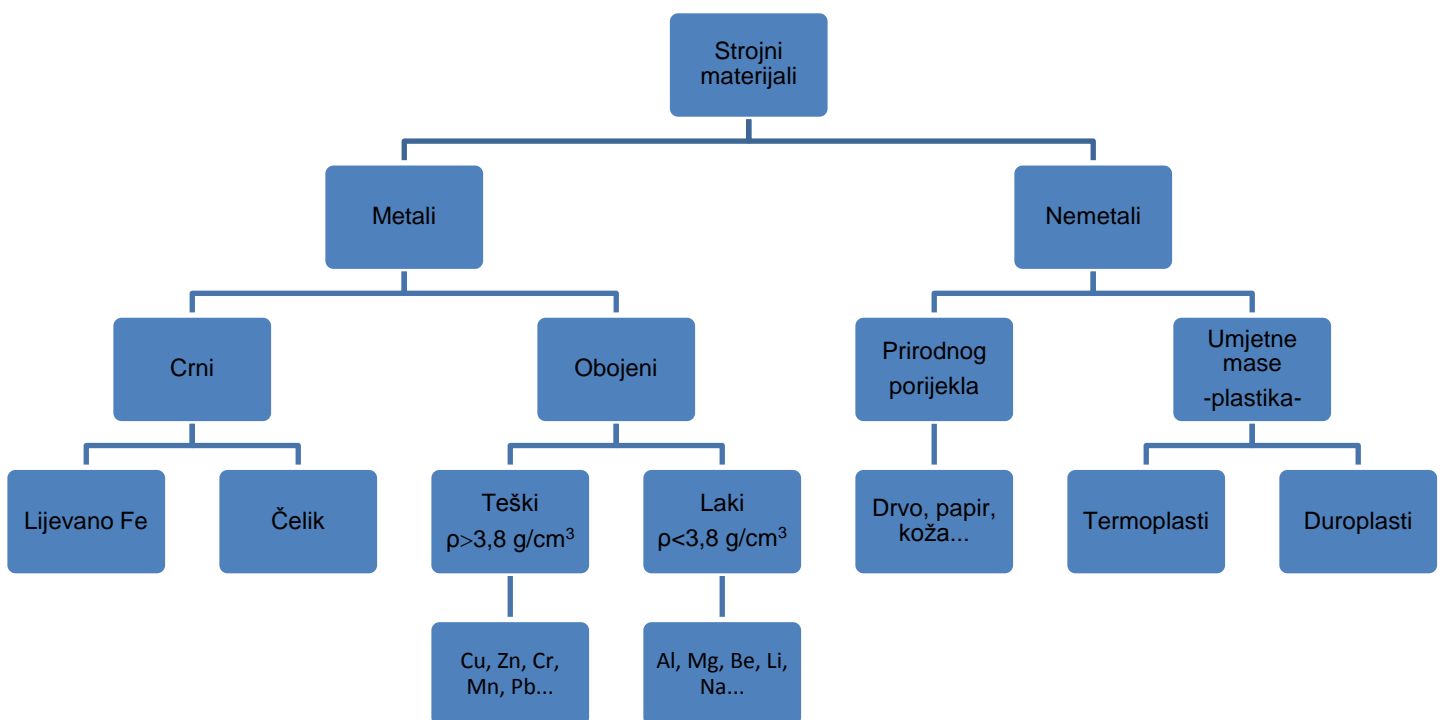
Obrada s mogućnošću spajanja podrazumijeva različite postupke kojima spajamo neke dijelove u funkcionalnu cjelinu. Tu ubrajamo mogućnost spajanja:

- Zavarivanjem
- Lemljenjem
- Lijepljenjem

2.5. PODJELA STROJNIH MATERIJALA

Strojne materijale možemo podijeliti u dvije osnovne skupine:

- Metale
- Nemetale



Slika 20: Shematski prikaz strojnih materijala

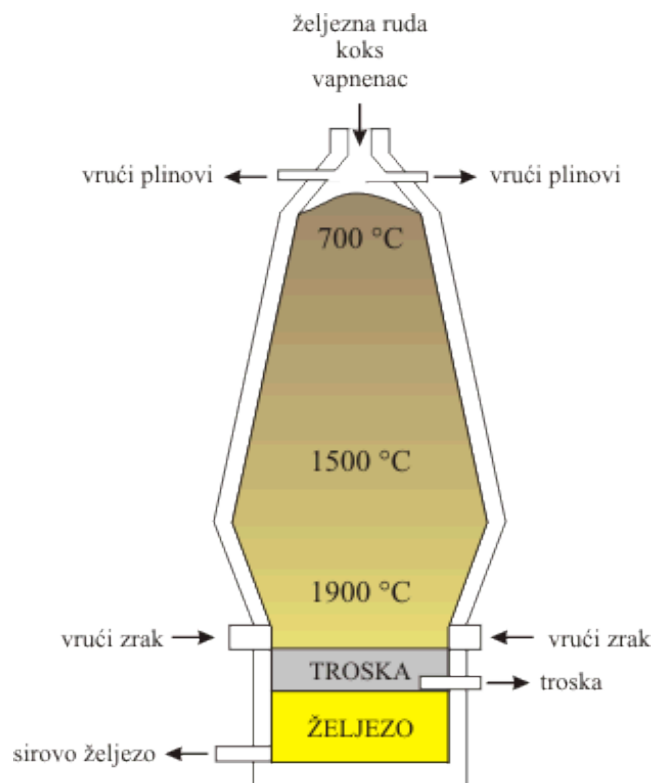
Metali su najviše korišteni materijali u strojogradnji. Svi metali se odlikuju određenim karakterističnim svojstvima, a to su:

- Metalni sjaj
- Neprozirnost do najtanjih listića
- Velika specifična težina (gustoća), s izuzetkom lakih metala
- Dobra toplinska i električna vodljivost
- Visoka temperatura taljenja
- Mogućnost lijevanja, kovanja i oblikovanja
- Mogućnost spajanja dva ili više metala u slitine (legure)

Metali se dobivaju iz rudača, najčešće postupkom **elektrolize** (Al, Zn, Cu, Mg...) i postupkom **redukcije** (Fe). Neki metali se mogu naći u prirodi u čistom stanju kao **samorodni** metali (npr. Au – zlatna groznica u Kaliforniji i na Aljasci u 19.st.).

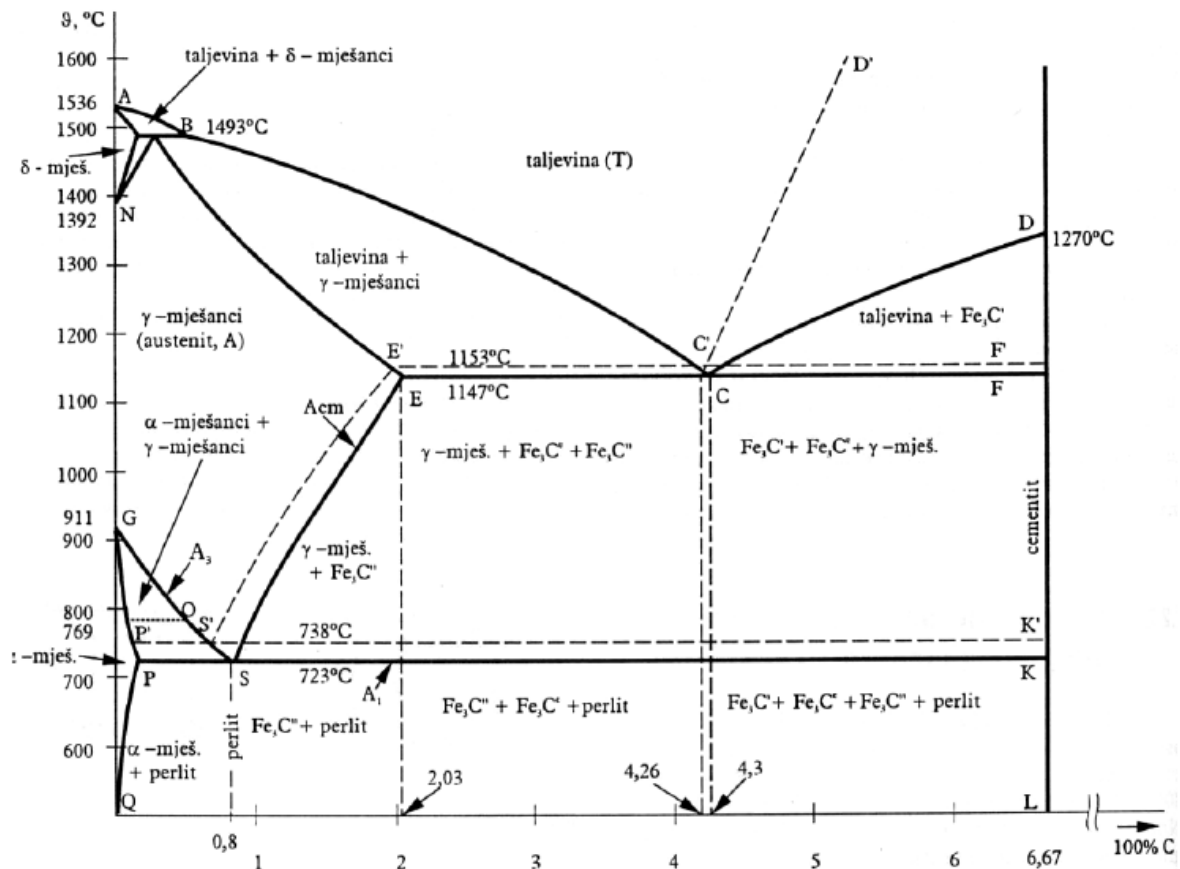
Crni metali su lijevano željezo i čelik. Dobivaju se iz rudača koje se prvo prerađuju u **sirovo željezo**, a zatim se od sirovog željeza dobiva **tehnički upotrebljivo** željezo – različite vrste lijevanog željeza i čelika.

Sirovo željezo se dobiva postupkom redukcije oksidne željezne rudače (magnezit, hematit, limonit) u visokim pećima pomoću koksa i vapnenca kao topitelja. Pored sirovog željeza, kao nusproizvod se dobiva troska (šljaka, zgura) i grotleni plinovi. Troska se može koristiti kao gnojivo jer je bogata fosforom i kalijem, kao građevinski materijal i sl., a grotleni plinovi kao energent.



Slika 21: Visoka peć

Sirovo željezo iz visoke peći može biti **sivo** sirovo željezo, gdje prisutnost silicija utječe na sporije hlađenje i izlučivanje ugljika u formi grafitnih listića, i **bijelo** sirovo željezo, gdje prisutnost mangana utječe na brzo hlađenje i vezanje ugljika s željezom u željezni karbid – cementit (Fe_3C).



Slika 22: Dijagram slijevanja Fe-C, Fe-Fe₃C

Lijevano željezo je tehničko željezo koje sadrži od 1,7 do 4,3 % ugljika. Dobiva se taljenjem sivog sirovog željeza i otpadnog željeza u kupolnoj ili elektro-indukcijskoj peći u kojoj izgaraju štetne primjese koje dospijevaju u trosku, a pročišćeno rastaljeno željezo se ulijeva u pripremljene pješčane ili metalne kalupe (kokile) iz kojih se nakon hlađenja vade odljevci, čiste i prema potrebi obrađuju. Lijevano željezo ne može se kovati ni kaliti.



Slika 23. Kupolna peć za lijevanje željeza Slika 24. Lijevanje rastaljenog metala u kalupe

Vrste lijevanog željeza

Kod lijevanog željeza razlikujemo:

- Sivi lijev (SL)
- Žilavi (nodularni) lijev (ŽL, NL)
- Tvrdi (kokilni) lijev (tvrdokorni, TTL i bijeli, BTL)
- Temper lijev (kovkasti lijev) (TeL, KL)

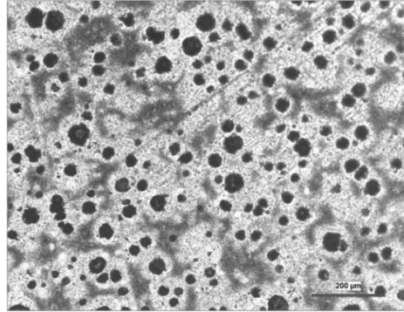
Kod **običnog sivog lijeva** (tzv. „gus“) ugljik je u odljevku pretežito (do 70%) u obliku grafitnih listića koji presijecaju strukturu. Takav odljevak ne podnosi dinamička naprezanja zbog svoje krutosti te je prikladan za statički opterećene dijelove kao što su razna kućišta strojeva, blokovi motora, šasije i sl. Dodavanjem određenih legiranih elemenata tijekom taljenja može se dobiti **legirani i kvalitetni sivi lijev** poboljšanih svojstava.



Slika 25: Unutrašnja struktura sivog lijeva s grafitnim listićima

Kod **žilavog (nodularnog) lijeva** u brižljivo taljeno sivo sirovo željezo dodaju se Mg, Ca i Ce koji utječu na koagulaciju grafita, tj. formiranje malih globula (kuglica) grafita. Sadržaj sumpora i fosfora ne smije biti veći od 0,01% (S) tj. 0,045% (P), budući da oni djeluju

antiglobulatočno. Takav odljevak, u kojem ugljik nije u formi listića koji presijecaju strukturu kao kod običnog sivog lijeva, već u formi sitnih globula, ima znatno bolja mehanička svojstva te se može koristiti za dinamički opterećene lijevane strojne dijelove koji su se inače radili isključivo od čelika (radilice, vratila, zupčanici i sl.).



Slika 26: Unutrašnja struktura žilavog lijeva s globulama grafita

Tvrđi (kokilni) lijev (TL) dobiva se lijevanjem sirovog željeza u metalne kalupe (kokile) ili u mokre pješčane kalupe, pri čemu zbog velike brzine hlađenja odljevka zbog boljeg provođenja topline kroz kalup, ugljik ostaje u površinskom sloju kemijski vezan sa željezom kao željezni karbid ili cementit (Fe_3C) koji daje veliku tvrdoću odljevku. U unutrašnjosti odljevka hlađenje je sporije pa se dio ugljika izučuje u formi grafita. Takav odljevak, koji ima veliku tvrdoću u površinskom sloju, a mekšu unutrašnjost, naziva se tvrdokorni lijev (TTL), a primjenjuje se za izradu valjaka u mlinskoj industriji, kotača željezničkih vagona, čeljusti drobilica i svugdje gdje se traži površinska otpornost prema trošenju.

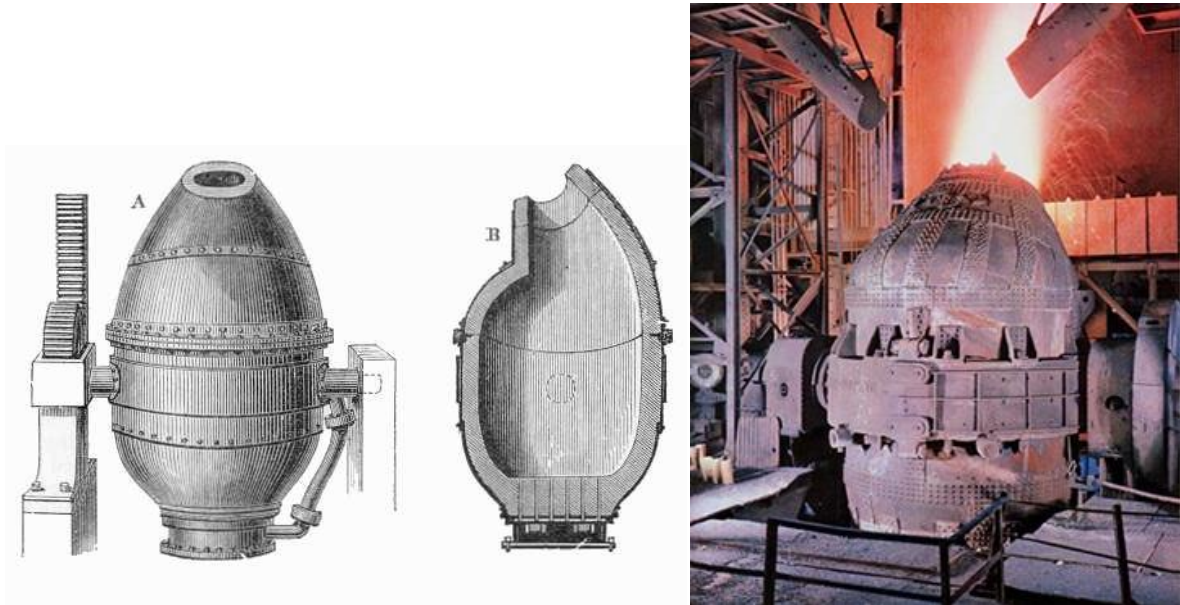
Ako se na ovaj način lijevaju predmeti tankih stijenki, cementitna struktura (Fe_3C) je prisutna na cijelom presjeku, te se takav lijev naziva bijeli lijev (BTL). Takvi odljevci su veoma tvrdi i krhki te ne podnose veća dinamička opterećenja.

Temper lijev, ili **kovkasti lijev**, se dobiva termičkom obradom gotovih odljevaka od bijelog lijevanog željeza (BTL) s cementitnom strukturom po cijelom presjeku. Odljevci se pakuju u čelične sanduke i oblažu prašinom hematitne rude (Fe_2O_3). Zatim se žare 5-6 dana na temperaturi od $900\text{ }^\circ\text{C}$, pri čemu se cementit raspada na željezo i tzv. „temper-ugljik“ koji polako difundira prema površini odljevka. Kisik iz hematitne prašine veže se s temper-ugljikom u CO ili CO_2 , koji kao plin izlazi iz sanduka. Na taj način smanjuje se sadržaj ugljika u odljevku na 2,5%, što ga po mehaničkim svojstvima približava čeliku. Također se poboljšavaju i tehnološka svojstva takvog odljevka te se on daje kovati, dobro se zavaruje i sl.

Čelik je legura željeza i ugljika u kojoj je sadržaj ugljika do 2,03% (najčešće ne veći od 1,7%). Pored ugljika kao najznačajnijeg legirnog elementa, u čeliku su prisutni i tzv. prateći elementi – korisni (Mn, Si, Al, Cu...) i štetni (S, O, P, N, H...), kao i drugi legirni elementi koji se dodaju, ovisno o svojstvima koja se žele postići (Cr, Si, Ni, Mn, Mo, Al, Ti, W, V...).

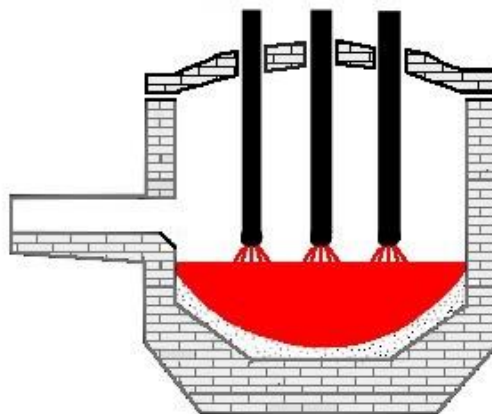
Proizvodnja čelika odvija se u pećima, koje mogu biti **konverterske** (Bessemerov ili Thomasov konverter), **Siemens-Martinove** ili **elektro-lučne** peći. Faze tehnološkog postupka dobivanja čelika su:

- Oksidacija štetnih primjesa
- Dezoksidacija taljevine pomoću feromangana i ferosilicija
- Dodavanje legirnih elemenata

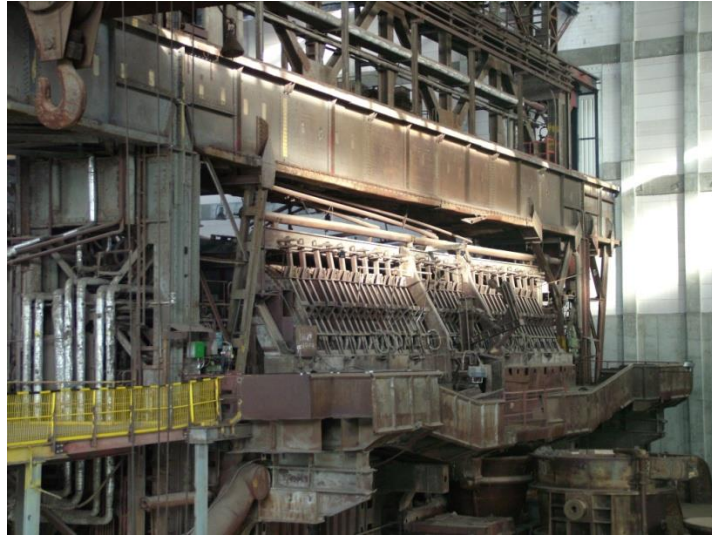


Slika 27: Bessemerov konverter

Najkvalitetniji čelici dobivaju se u elektro-lučnim pećima (Sl. 27)



Slika 28: Elektro-lučna peć s tri grafitne elektrode

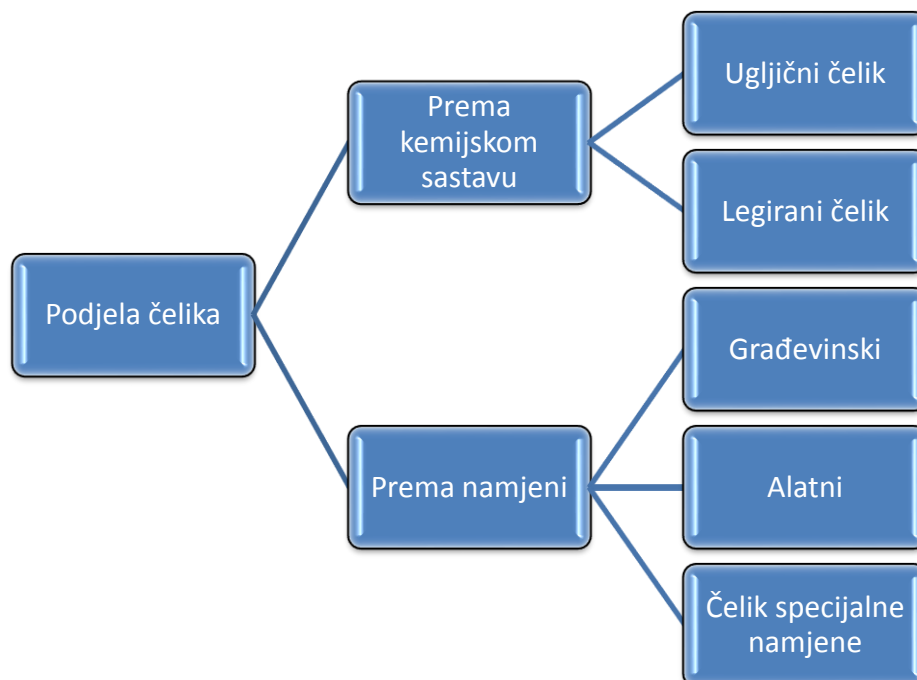


Slika 29: Siemens-Martinova peć

Vrste čelika

Čelik možemo razvrstati **prema kemijskom sastavu** na **ugljični** i **legirani** čelik. Kod ugljičnih čelika osnovni legirni element je ugljik, a kod legiranih neki drugi legirni element. Ugljični čelici mogu biti **negarantiranog** ili **garantiranog** kemijskog sastava, dok legirani čelici mogu biti **nisko legirani** ili **visoko legirani**. Kod nisko legiranih čelika ukupni sadržaj legirnih elemenata, ne računajući ugljik, ne prelazi 5 %, dok su visoko legirani čelici oni kod kojih taj sadržaj prelazi 5 %.

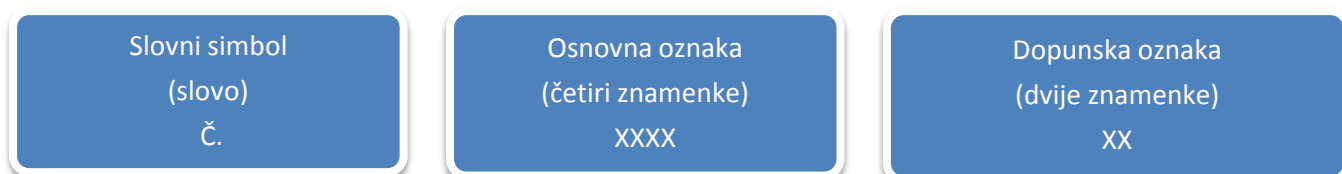
Čelik se **prema namjeni** dijeli na **građevinski** (konstrukcijski), **alatni**, i čelik **specijalne namjene**. Građevinski čelik se dijeli na **obični** građevinski čelik negarantiranog sastava, građevinski čelik **za cementiranje** i građevinski čelik **za poboljšavanje** (oPLEMENJIVANJE).



Slika 30: Shematski prikaz podjele čelika

Standardno označavanje čelika

Čelici se prema našem standardu označavaju slovnim simbolom (slovo Č s točkom), osnovnom oznakom koja se sastoji od četiri znamenke koje definiraju vrstu, sastav i svojstva čelika, i dopunskom oznakom koja ukazuje na stanje čelika (slika 31).



Slika 31: Shematski prikaz standardnog označavanja čelika

Detalniji prikaz značenja pojedinih brojevanih simbola u osnovnoj oznaci nekog čelika dan je u tablici 1.

Tablica 1: Značenje simbola u osnovnoj oznaci čelika

SIMBOL NA PRVOM MJESTU	ČELICI S NEGARANTIRANIM SASTAVOM		ČELICI S GARANTIRANIM SASTAVOM	
	UGLJIČNI		UGLJIČNI	LEGIRANI
	0		1	2 – 9 (Brojčani simbol najutjecajnijeg legirajućeg elementa)
SIMBOLI NA DRUGOM MJESTU	Simbol	Nazivna zatezna čvrstoća (N/mm ²)	10 x maksimalni sadržaj ugljika zaokružen na desetine (9 = 0,90 % i više)	Kod višestruko legiranih čelika brojčani simbol po utjecajnosti drugog po redu legirajućeg elementa Kod jednostruko legiranih čelika brojčani simbol na drugom mjestu je uvijek broj 1
	0	Trgovačka kvaliteta		
	1	≤ 330		
	2	340-360		
	3	370-390		
	4	400-490		
	5	500-590		
	6	600-690		
	7	≥ 700		
SIMBOLI NA TREĆEM I ČETVRTOM MJESTU	Redni broj: 00-44: Čelik s negarantiranom čistoćom 45-89: Čelici s garantiranom čistoćom i garantiranim sadržajem nekog elementa 90-99: Slobodno		00-19: Čelici nenamijenjeni termičkoj obradi 20-29: Čelici za cementiranje 30-39: Čelici za poboljšavanje (oplemenjivanje) 40-49: Čelici ugljični i niskolegirani za alate 50-59: Visokolegirani alatni čelici 60-69: Čelici s naročitim fizičkim svojstvima 70-79: Čelici kemijski postojani i vatrootporni 80-89: Slobodno (brzorezni čelici) 90-99: Čelici za automate	

Tako na primjer čelik označen kao **Č. 0270** predstavlja obični konstrukcijski čelik, pri čemu nula na prvom mjestu osnovne oznake govori da je to ugljični čelik negarantiranog sastava, dvojka na drugom mjestu označava njegovu nazivnu zateznu čvrstoću koja iznosi 340 – 360 N/mm², dok oznaka 70 na trećem i četvrtom mjestu predstavlja tzv. redni broj čelika, pri čemu se u slučaju navedenog čelika radi o čeliku s garantiranom čistoćom i garantiranim sadržajem nekog elementa (tablica 1).

Čelik označen oznakom **Č. 1836** je ugljični čelik za oplemenjivanje, pri čemu broj jedan na prvom mjestu označava ugljični čelik s garantiranim sastavom, broj osam na drugom mjestu znači da je sadržaj ugljika maksimalno 0,8 %, a broj 36 na trećem i četvrtom mjestu označava čelik za oplemenjivanje (tablica 1).

Čelik **Č. 6980** predstavlja brzorezni alatni čelik, pri čemu iz tablice 1 iščitavamo da se radi o legiranom čeliku. Oznaka 6 na prvom mjestu govori nam da je najutjecajniji legirni element volfram, a drugi po utjecajnosti (broj 9 na drugom mjestu) je neki od ostalih elemenata, izuzev onih s brojčanim simbolom 1 – 8 (tablica 2). Da se radi o brzoreznom alatnom čeliku, vidljivo je iz oznake na trećem i četvrtom mjestu (tablica 1).

Tablica 2: Brojčani simboli legirajućih elemenata za legirne čelike

LEGIRAJUĆI ELEMENTI	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Ostali
BROJČANI SIMBOL	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Utjecajnost legirajućeg elementa u legiranom čeliku određuje se pomoću faktora vrijednosti (tablica 3) na osnovi poznatog kemijskog sastava čelika. Množenjem faktora vrijednosti i postotnog učešća pojedinih legirnih elemenata utvrđuje se koji je element najutjecajniji, a koji je drugi po utjecaju.

Tablica 3: Minimalno učešće legirajućih elemenata u legiranim čelicima i njihovi faktori vrijednosti

LEGIRAJUĆI ELEMENTI	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	Ti	Cu	Al	Ostali
% >	0,6	0,8	0,2	0,3	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	-
FAKTOR VRIJEDNOSTI	1	1	4	4	7	14	17	20	30	1	1	30

Dopunske oznake koje se odnose na stanje čelika prikazane su u tablici 4.

Tablica 4: Dopunske oznake čelika

Brojčani simbol	Stanje čelika	Brojčani simbol	Boja trake
0	Bez termičke obrade	0	Crna
1	Žareno	1	Bijela
2	Žareno na najbolju obradivost	2	Crvena
3	Normalizirano	3	Narandžasta
4	Poboljšano	4	Žuta
5	Hladno deformirano	5	Zelena
6	Priređeno po posebnom uputstvu	6	Plava
V	Garantirana zavarljivost	7	Ljubičasta
		8	Smeđa
		9	Siva

Tako je na primjer čelik s oznakom Č. 4543.3 niskolegirani alatni čelik kod kojeg je najutjecajni legirni element krom (Cr), drugi po utjecajnosti je nikal (Ni), a dopunska oznaka s brojčanim simbolom 3 označava da je čelik u normaliziranom stanju.

Toplinske obrade čelika

Cilj toplinske obrade čelika je poboljšanje njegovih mehaničkih osobina. U postupke toplinske obrade ubrajamo:

- Žarenje
- Normalizaciju
- Kaljenje
- Napuštanje
- Oplemenjivanje (poboljšavanje)

Žarenje je toplinska obrada kod koje se čelični dijelovi zagrijavaju na temperaturu 650 – 700 °C i zatim **sporo hlade**, zajedno s pećima za žarenje. Žarenjem se smanjuje tvrdoća, ali se povećava žilavost i plastičnost čelika pa se takav čelik može bolje obrađivati (kovati, valjati, rezati).

Normalizacija je toplinska obrada koja se provodi zagrijavanjem i zatim hlađenjem čelika na zraku. Time se postiže veća tvrdoća i čvrstoća nego žarenjem.

Kaljenje je postupak toplinske obrade čelika kod kojeg se čelik zagrijava iznad kritične temperature (700-800 °C) nakon čega slijedi **naglo hlađenje** u vodi, ulju ili struji zraka. Pri tome dolazi do rekristalizacije i stvaranja tzv. **martenzitne strukture**. Rezultat je bolja tvrdoća i čvrstoća, a smanjena žilavost i plastičnost.

Napuštanje je toplinska obrada koja se redovito provodi nakon kaljenja, a cilj joj je uklanjanje unutrašnjih naprezanja u materijalu koja izazivaju krtost. Provodi se ponovnim ugrijavanjem kaljenog čelika na temperaturu ispod kritične (150-650 °C) i zatim polaganim hlađenjem na zraku. Prema temperaturi napuštanja razlikujemo **nisko, srednje i visoko napuštanje**.

Oplemenjivanje (poboljšavanje) je postupak toplinske obrade koji se sastoji od kaljenja čelika na temperaturi od 850-900 °C i zatim visokog napuštanja (na 400-700 °C). Time se poboljšavaju sva mehanička svojstva čelika, naročito elastičnost, plastičnost i žilavost.

Termo-kemijski postupci obrade čelika

Od termo-kemijskih postupaka obrade čelika, najviše se primjenjuju **cementiranje** i **nitiranje**.

Cementiranje je postupak kod kojeg se čelik žari na temperaturi do 900 °C uz prisustvo sredstva bogatog ugljikom (drveni ugljen, različite soli, CO, CH₄). Pri tome se površinski sloj do dubine od 0,75 – 1,5 mm obogaćuje ugljikom koji se kemijski veže sa željezom u tvrdi željezni karbid (cementit – Fe₃C). Time se povećava tvrdoća u površinskom sloju, a jezgra ostaje mekša i žilavija. Ovaj postupak obrade koristi se za dijelove izložene habanju i visokim pritiscima, kao što su zubi zupčanika, rukavci vratila, klizne čahure, klipni svornjaci i sl. Cementiraju se čelici sa sadržajem ugljika od 0,06 – 0,2 %.

Nitiranje je termo-kemijski postupak obrade čelika kod kojeg se čelični predmet zagrijava na temperaturu od 500-600 °C uz prisustvo amonijaka, pri čemu se u površinskom sloju do 1 mm dubine dušik iz amonijaka veže sa željezom u vrlo tvrdi željezni nitrat. Postupak traje do 4 dana, a nitirani dijelovi imaju povećanu čvrstoću i tvrdoću, čime se dobiva velika otpornost protiv habanja. Nitiraju se cilindri motora SUI, rukavci koljenastog vratila, bregovi bregastog vratila i sl.

Obojeni metali

Obojeni metali se u strojarstvu najčešće koriste u različitim slitinama (legurama), u antikorozivnoj zaštiti željeznih predmeta sklonih koroziji, kao ležajni materijali i sl. Dije se na **teške** i **lake** metale.

Bakar (Cu)

Bakar je obojeni metal iz grupe teških metala. Gustoća mu je 8,92 kg/dm³, talište na 1083 °C, a vrelište na 2350 °C. Dobar je vodič topline i elektriciteta. Mehanička svojstva mu ovise o načinu obrade, pa tako lijevani bakar ima vlačnu čvrstoću 137 N/mm², valjani 235 N/mm², a hladno vučeni bakar 470 N/mm². Tvrdoća mu također ovisi o stupnju obrade, a kreće se od 392 – 981 N/mm². Istezljivost mu je 45 %.

Što se tiče tehnoloških svojstava, bakar se može kovati u hladnom i toplom stanju, slabo se lijeva (odljevcu su šuplji i krhki zbog upijanja plinova), teško se obrađuje tokarenjem (lijepi se za nož), dobro se lemi, može se zavarivati plinski i elektro-lučno. Na zraku se presvlači slojem oksida (Cu₂O) koji čvrsto prianja uz površinu, daje mu crvenu boju i štiti ga od daljnjeg razaranja.

Bakar se proizvodi iz rudača (kuprit, kovelin, halkozin, halkopirit, brohantit, malahit, azurit) postupkom elektrolize. U strojarstvu se koriste slitine na bazi bakra, i to **bronca** i **mesing** (mjed).

Bronca je dvojna ili trojna legura s **najmanje 60 % bakra** kao osnovne komponente, ali bez cinka kao jednog od dodatnih elemenata. Bronce dobivaju naziv prema glavnim dodatnim elementima, pa tako razlikujemo **kositredu broncu** kao dvojni leguru bakra i kositra, zatim **crveni metal** koji je legura bakra (više od 80%), kositra i male količine olova. Odljevak takve legure naziva se crveni lijev. **Aluminijska bronca** je legura s više od 70 % bakra te

aluminijem kao glavnim dodatnim elementom (najčešće do 14 %). Koristi se za izradu žice, limova, zupčanika, armature i sl. **Olovna bronca i kositreno-olovna bronca** koriste se kao ležajni materijal za izradu blazinica ležajeva koji su jače napregnuti i izloženi djelovanju korozije. **Silicijska bronca** koristi se za jako napregnute dijelove u kemijskoj industriji, za opruge, sita i sl.

Mesing (mjed) je dvojna legura s **najmanje 50 % bakra** i **najviše 44 % cinka**, te ponekad do 3 % olova. **Novo srebro** je trojna legura Cu, Ni i Zn, u kojoj prevladava sadržaj bakra. Ima najmanje 10 % nikla i metalne je bijele boje, otkuda i njen naziv. **Mjed za lemljenje** je mjed namijenjena tvrdom lemljenju, kao i tzv. **srebrni lem** u kojem pored bakra i cinka ima i 8-27 % srebra.

Aluminij (Al)

Aluminij ubrajamo u lake metale. Gustoća mu je $2,7 \text{ kg/dm}^3$, talište na $658 \text{ }^\circ\text{C}$, vrelište $2270 \text{ }^\circ\text{C}$. Dobar je vodič električne struje i topline. Mehanička svojstva – vlačna čvrstoća vučenog aluminija je $128 - 178 \text{ N/mm}^2$, tvrdoća mu je $294 - 392 \text{ N/mm}^2$, a rastezanje $3 - 7 \%$. Što se tehnoloških svojstava tiče, dobro se gnječi, a slabo lijeva, teško se spaja zavarivanjem zbog oksidacije površinskog sloja, teško se lemi. Postojan je na zraku zbog stvaranja tankog oksidnog sloja debljine $0,02$ mikrona koji ga štiti od daljnje oksidacije. Slitine na bazi aluminija imaju veliku primjenu u strojarstvu, u automobilskoj industriji, građevinarstvu, kemijskoj industriji, aeronautici i sl. Poznatije legure su:

- Duralumin – legura Al, Cu, Si, Mg, Ti
- Silumin – legura Al, Si, Mn
- Duranalij – legura Al, Mg, Mn
- Hidronalij . legura Al, Mg, Si, Mn



Slika 32: Aluminijski naplatak

Prema standardu, razlikujemo 13 vrsta aluminijskih legura za gnječenje i 25 vrsta za lijevanje.

Nikal (Ni)

Nikal ubrajamo u teške metale. Gustoća mu je $8,8 \text{ kg/dm}^3$, boja srebnasto-bijela. Talište nikla je na $1455 \text{ }^\circ\text{C}$, a vrelište na $2913 \text{ }^\circ\text{C}$. Vlačna čvrstoća meko žarenog nikla je 392 N/mm^2 , a rastezanje $32 - 40 \%$. Nikal se dobro obrađuje vučenjem, dobro se lemi i zavaraje. Koristi se najviše kao dodatak za legirane čelike zajedno s kromom, čime se dobiva nehrđajući čelik. 20 % proizvodnje nikla koristi se za **galvanske prevlake** u obliku soli. Legure na bazi nikla su:

- Nikelin – 68% Cu, 33% Ni – za električne otpornike
- Cekas – 20-32% Ni, 22% Cr, 45-50% Fe – za električne otpornike
- Komtontan – 60% Cu, 40% Ni – za električne otpornike

- Novo srebro – legura bakra s niklom i cinkom – za medicinske i glazbene instrumente, pribor za jelo, fina mehanika
- Monel-metal – prirodna legura Cu i Ni – samorodna u Kanadi – 67% Ni, 28% Cu, 5% Mn i nešto Fe – koristi se za izradu turbinskih lopatica

Magnezij (Mg)

Magnezij ubrajamo u lake metale. Boja mu je srebrnasta, gustoća $1,74 \text{ kg/dm}^3$, talište na $650 \text{ }^\circ\text{C}$, vrelište na $1100 \text{ }^\circ\text{C}$. Vlačna mu je čvrstoća 157 N/mm^2 , tvrdoća $294 - 392 \text{ N/mm}^2$, a rastezanje $8 - 12 \%$. Magnezij se ne da obrađivati gnječanjem. Može se kovati, valjati i izvlačiti u toplom stanju. Dobro se obrađuje skidanjem strugotine. Otporan je na lužine, ali ne i na kiseline. Magnezij se koristi u fototehnici i u vojnoj industriji (za punjenje raketa, eksplozivnih sredstava i sl.). Legura sa 90% magnezija i 10% aluminija naziva se **elektron**.

Olovo (Pb)

Olovo je teški metal plavo-sive boje. Gustoća olova je $11,34$, talište $327,4 \text{ }^\circ\text{C}$, vrelište $1740 \text{ }^\circ\text{C}$, dobro se lijeva, razvlači, može se prešati i valjati. Otporan je na kiseline. Koristi se u strojarstvu kao materijal za izradu ležajnih legura, za legure za meko lemljenje, u kemijskoj industriji, za akumulatore, vodovodne cijevi i sl. Proizvodi se postupkom redukcije i rafinacije. Poznatije rudače su **galenit** (olovni sulfid sa $88\% \text{ Pb}$) i **ceruzit** (olovni karbonat sa $77\% \text{ Pb}$).

Kositar (Sn)

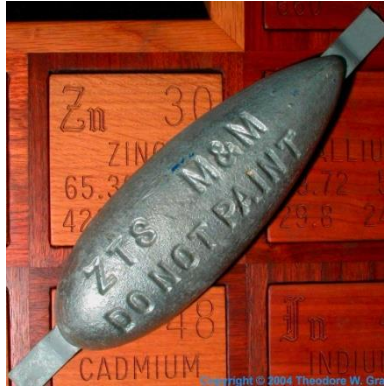
Kositar je teški metal gustoće $7,28$, srebrno-bijele boje. Talište mu je na $231,8 \text{ }^\circ\text{C}$, vrelište na $2601,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Proizvodi se iz rude kositerit u kojoj ima svega oko 2% kositra. Postupak je koncentriranje, redukcija i rafinacija. Kositar je veoma mekan i pri savijanju škripi uslijed trenja slojeva. Dobro se lijeva i razvlači u tanke folije (staniol). Najviše se koristi kao ambalaža za živežne namirnice, za proizvodnju bijelog lima i kao dodatak u legurama kao što su bronca, legura za meko lemljenje, ležajne legure i sl. Koristi se i za kositrenje cijevi i posuđa.

Cink (Zn)



Slika 33: Metallium – uzorci kemijskih elemenata (Dave Hamric)

Cink je teški metal gustoće $7,1$, plavkasto-bijele boje. Talište mu je na $419,4 \text{ }^\circ\text{C}$, vrelište na $907 \text{ }^\circ\text{C}$. Dobro se valja, lijeva i dobro ispunjava kalupe. Najviše se koristi za pocinčavanje željeznih limova, za proizvodnju legura (mesing) i za proizvodnju boja. Koristi se i kao anodna zaštita protiv korozije za čelične spremnike, tračnice, trupove brodova i sl. budući on puno brže oksidira od čelika. Kad se cinkova anoda skoro potroši, jednostavno se zamijeni novom (slika34).



Slika 33: Cinkova anoda za antikorozivnu zaštitu trupa broda

NEMETALI

Nemetali su grupa strojnih materijala koje dijelimo na umjetne (plastične) mase i nemetale prirodnog porijekla. Umjetne, plastične mase dobivaju se umjetnim putem od organskih tvari, dok su nemetali prirodnog porijekla široka grupa materijala koje nalazimo u prirodi, kao što su drvo, koža, kaučuk, guma, biljna vlakna i sl. U strojarstvu se mogu koristiti za izradu strojnih dijelova, kao izolacijski materijali, materijali za brtvljenje i sl.

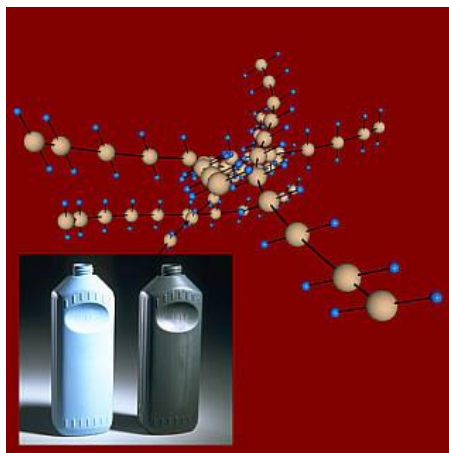
Umjetne plastične mase su sintetički polimeri koje dijelimo na:

termoplastične mase - termoplaste,

termostabilne plastične mase – duroplaste, i

elastomere.

Termoplastične mase (termoplasti) su umjetne mase koje se mogu višekratno ugrijavanjem preoblikovati. Tu ubrajamo polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polivinil klorid (PVC), polipropilen (PP).



Slika 34: Struktura polimera – lanci molekula

Polietilen (PE) je termoplastični materijal koji se proizvodi kao:

- Polietilen niske gustoće (LDPE)
- Polietilen srednje gustoće (MDPE)
- Polietilen visoke gustoće (HDPE)
- Polietilen ultra visoke molekulske mase (UHMWPE)

Kemijska formula polietilena može se prikazati kao: $n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$

Primjena polietilena u poljoprivredi je vrlo raširena, od tankih folija za plastenike (LDPE) debljine 0,15 mm (150 mikrona) do pregrada za boksove u stočarstvu (HDPE).



Slika 35: Tankoslojni PE film za plastenike, UV stabiliziran

Termostabilne mase (duroplasti) mogu se termički oblikovati samo jednom. Nakon stvrdnjavanja ne mogu se ponovo dovesti u plastično stanje. To su tzv. polikondenzati, kao što su fenolne smole (bakelit, novotex, tekstolit) i karbamidne smole (aminoplasti).

Elastomeri su sintetički polimeri koji se odlikuju savitljivošću pri sobnoj temperaturi. Predstavnik elastomera je guma, koja se najviše koristi u automobilskoj industriji.

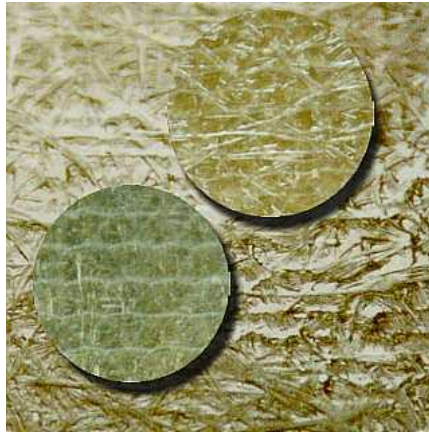
Plastične mase imaju brojne prednosti ispred prirodnih materijala:

- dobri su toplinski i električni izolatori
- otporni su prema vodi
- mnoge su otporne prema kiselinama i lužinama
- nisu izložene koroziji
- lako se oblikuju
- dobro upijaju vibracije
- imaju nizak faktor trenja, stoga su otporni na trošenje

Loše svojstvo plastičnih masa je njihova biološka nerazgradivost, koja uzrokuje ekološke probleme u cijelom svijetu.

Kompozitni materijali su materijali sastavljeni kao mješavina dvije ili više komponenti, već gotovih materijala, pri čemu dobivaju svojstva koja komponente pojedinačno nemaju. Jedna je komponenta pri tome osnovni materijal, a druga služi za očvršćivanje. Primjer

kompozitnog materijala je stakloplastika (GRP – glass reinforced plastics), koja se u poljoprivredi primjenjuje za silose, spremnike prskalica i sl.



Slika 36: Stakloplastika