

UVOD

Razvoj parnih turbina, motora s unutrašnjim sagorevanjem, gigantski napredak u oblasti saobraćaja - vodenog, podvodnog, suvozemnog, vazdušnog, radiotehnike i elektronike uopšte - prešli su svako očekivanje i za veoma kratko vreme izmenili ne samo saobraćajne mogućnosti, već u velikoj meri promenili osnovne elemente u životu čoveka.

Ako se upustimo u detaljnije razmatranje pitanja, koji su uslovi bili potrebni da se omogući ovakav razvoj tehnike, videćemo da su jedni od glavnih bili pronalasci u vezi sa kvalitetom upotrebljenih materijala, naročito u pogledu svojstava otpornosti i sposobnosti obrade.

Pri izradi jednog tehničkog objekta, ma koje vrste on bio, postavljaju se tri problema:

- Prvi se sastoji u projektovanju tog objekta,
- Drugi u izboru i pribavljanju potrebnog materijala radi izrade objekta,
- Treći u izvođenju objekta prema zamisli izraženoj u projektu i materijalima koji su odabrani kao najpodesniji.

Sva su ova tri problema podjednako važna.

Jedan projektant može mnogo koječega da zamisli i da želi izvesti. Ali ne može se svaki projekat izvesti ako se nema na raspolaganju materijal koji odgovara zamisli projektanta i koji može da izdrži predviđena naprezanja i da bude obradiv na način na koji je projektant predvideo. Tu se sada ukazuje kao neminovna potreba da projektant poznaje materijale, koje može da uzme u obzir za izvođenje svog projekta.

Danas se metali koji su u upotrebi kao tehnički materijali nalaze u nekoliko vidova: kao čist metal, kao tehnički metal sa malim količinama stranih elemenata, kao glavni sastavni deo legure, kao sastavni deo legure. U svim tim slučajevima od metala se mnogo zahteva i njihove su uloge različite. Metali se mogu upotrebljavati i u čistom stanju kao površinske prevlake preko drugih metala, pa čak i nemetala. U takvim slučajevima izvesna njihova svojstva dolaze do punog izražaja.

Može se reći da se od metala koji su do sad pronađeni i koji se nalaze u tabeli Mendeljejeva upotrebljava u tehnici ukupno 19 metala i to su: gvođžde *Fe*, kobalt *Co*, nikal *Ni*, bakar *Cu*, srebro *Ag*, zlato *Au*, platina *Pt*, paladijum *Pd*, volfram *W*, molibden *Mo*, tantal *Ta*, cink *Zn*, kadmijum *Cd*, olovo *Pb*, kalaj *Sn*, bizmut *Bi*, aluminijum *Al*, magnezijum *Mg* i titan *Ti*.

Metali pod nazivom "retke zemlje" SEE, među kojima su lantan, cerijum, neodijum, galijum, terbijum i indijum, dobijaju sve više na značaju jer su osnova za razvoj visokotehnoloških industrija. Zbog svojih specifičnih svojstava, oni se koriste u mobilnim telefonima, laptopovima, televizorima sa ravnim ekranima, ćelijama nuklearnih goriva, LED diodama, motorima elektro-automobila, u laserskim tehnologijama i sl. Najveća nalazišta kao

i proizvodnja ovih metala skoncentrisana je u Kini, što po nekim mišljenjima predstavlja osnovu njenog brzog ekonomskog razvoja.

Glavni razlozi upotrebe pojedinih metala jesu njihova svojstva otpornosti i sposobnost obrade. Isto tako je važna i lakoća nabavljanja, tj. u kojim količinama se nalaze u prirodi.

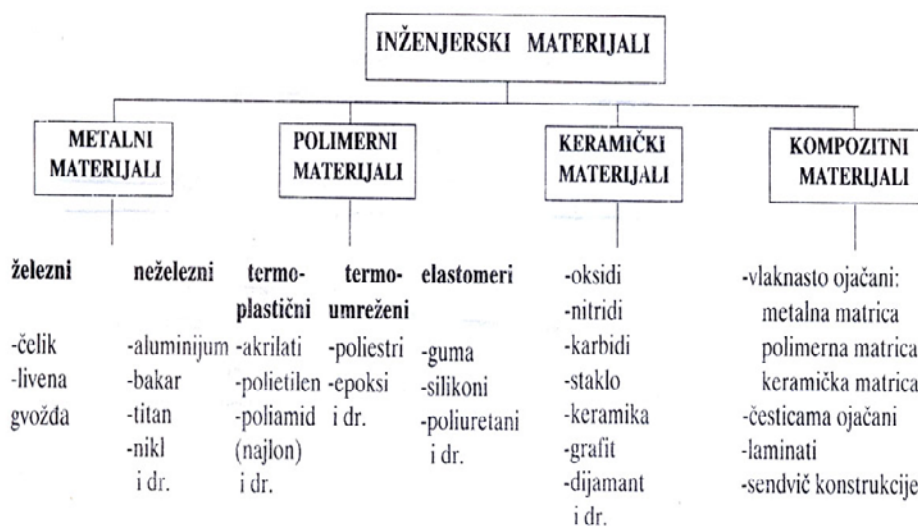
Gvožđa ima najviše u prirodi i njegova upotreba u tehnici je najveća. Aluminijum i njegove legure dolaze sve više do izražaja i njegov značaj je srazmeran ogromnim količinama koje se nalaze u prirodi. Bakar se takođe nalazi u dosta velikim količinama, mada se za njega može reći da je redak po svojim nalazištima.

Interesantno je razmotriti odnos cene koštanja proizvodnje pojedinih metala u odnosu na cenu koštanja proizvodnje železa. Ako cenu koštanja jednog kilograma železa označimo sa 1, cena koštanja proizvodnje jednog kilograma aluminijuma je 6, bakra 7,5, magnezijuma 8, nikla 17, kalaja 22, hroma 25, kobalta 35, volframa 75, titana 160, molibdena 170, srebra 290, tantala 800, zlata 11.000, platine 27.000, i td.

Nauka o materijalima je naučna disciplina koja se bavi izučavanjem odnosa između mikrostrukture materijala i osobina.

Tehnologije materijala su inženjerske discipline koje koriste osnovna i primenjena znanja o materijalima, kako bi se od materijala napravio gotov proizvod.

U širem smislu tehnički materijali mogu biti mašinski, građevinski, elektrotehnički, tekstilni. Predmet našeg izučavanja su mašinski materijali, pre svega čvrste materije u koje spadaju: metali i metalne legure, polimeri (plastika i elastomeri), i keramike, čijom se kombinacijom mogu dobiti višekomponentni materijali – kompoziti.



Materijali imaju svoje osobine i strukture.



I. OSNOVNA SVOJSTVA (OSOBINE) MATERIJALA

Kod svih materijala se razlikuju hemijska, fizička, mehanička i tehnološka svojstva (osobine).

OSOBINE MATERIJALA				
Fizičke osobine	Mehaničke osobine	Osobine površina	Tehnološke osobine (Obradivost)	Ekonomske osobine
gustina	Modul elastičnosti	oksidacija	rezanje	cena materijala
toplota provodljivost	Čvrstoća	korozija	livenje	raspoloživost materijala u prirodi
električna provodljivost	Tvrdoća	trenje	zavarivanje	
magnetna provodljivost	Žilavost	habanje	termička obrada	
optičke osobine	Žilavost loma	abrazija	plastična deformacija	
	Čvrstoća pri puzanju			
	Dinamička čvrstoća			
	Izduženje			
	Kontrakcija			

1.1 HEMIJSKA SVOJSTVA MATERIJALA

Hemijska svojstva materijala zavise od njegove strukture, odnosno količine i vrste hemijskih elemenata koji učestvuju u njegovoj izgradnji. Hemijske osobine se ne mogu odrediti vizuelnim posmatranjem, već merenjem, a za to je potrebno da dođe do promena ili razaranja materijala, odnosno do hemijskog ili elektrohemijskog delovanja raznih sredina na materijal pri normalnoj ili povišenoj temperaturi.

Hemijska svojstva metalnih materijala značajna za industriju su **sposobnost za oksidaciju i otpornost prema koroziji.**

1.2 FIZIČKA SVOJSTVA METALA

U fizička svojstva metala spadaju: gustina, temperatura topljenja/kristalizacije, toplotna svojstva (toplotni kapacitet, koeficijent toplotnog širenja i toplotna provodljivost), optička svojstva (providnost, boja), električna i magnetna svojstva.

Gustina ρ (kg/m^3) predstavlja količnik mase nekog komada i njegove zapremine,
 $\rho = m/V$.

Specifična težina γ (N/m^3) je težina jedinice zapremine materijala, $\gamma=(m \cdot g)/V=\rho \cdot g$, gde je g – gravitaciono ubrzanje Zemlje. U bliskoj vezi je sa gustinom, međutim one nisu sinonimi, a sličnost ovih pojmova je kao kod mase (mera inercije tela) i težine (sila kojom telo, usled gravitacionog dejstva, deluje na nepokretni oslonac). Gustina tela ne zavisi od gravitacije dok specifična težina zavisi.

Osim manjeg broja lakih metala (*Al* aluminijum, *Be* berilijum i *Mg* magnezijum), koji imaju specifičnu težinu manju od $3 kg/dm^3$, veći broj metala ima veću specifičnu težinu, sve do najvećih kao što imaju zlato ($19,32 kg/dm^3$) ili platina ($21,4 kg/dm^3$).

Temperaturom topljenja nazivamo onu temperaturu ($^{\circ}C$) pri kojoj zagrejan metal prelazi iz čvrstog u tečno stanje. **Temperatura kristalizacije** je temperatura na kojoj materijal prelazi iz tečnog u čvrsto stanje. U idealnom slučaju (čisti metali, veoma mala brzina promene temperature) temperatura topljenja je jednaka temperaturi kristalizacije.

Potrebno je znati, da se temperatura topljenja legura menja uvođenjem novih sastojaka i razlikuje se od temperature topljenja sastavnih elemenata.

Neki put legura može imati nižu temperaturu topljenja od pojedinih sastojaka koji učestvuju u leguri. Na primer: čisto gvožđe (železo *Fe*) se topi pri $1529^{\circ}C$, a ugljenik C pri više od $3500^{\circ}C$, dok gvožđe (legura železa i ugljenika u procentu 1,7 - 6,7%) daje srazmerno lako topljivo liveno gvožđe temperature topljenja od $1130^{\circ}C$.

Međutim, može biti i obrnut slučaj, tj. da legura ima višu temperaturu topljenja, na primer: nikl *Ni* ima temperaturu topljenja $1455^{\circ}C$, a aluminijum *Al* $660^{\circ}C$, dok njihova legura sa 68% *Ni* i 32% *Al* ima temperaturu topljenja srazmerno visoku, tj. $1620^{\circ}C$.

O ovoj osobini mora se naročito voditi računa pri stvaranju legura.

Toplota topljenja q (J/kg) je ona količina energije (toplote) Q koja se utroši za prelaz $1kg$ metala iz čvrstog u tečno stanje, $Q=m \cdot q \rightarrow q=Q/m$.

Da bi se rastopio neki metal potrebno je isti ne samo zagrejati do temperature topljenja (toplota zagrevanja), već utrošiti i dopunsku toplotnu energiju do potrebnog prevođenja metala u tečno stanje a da se temperatura topljenja pri tome ne poveća (toplota topljenja).

Specifična toplota - specifični toplotni kapacitet ($J/kg \cdot K$) je potrebna količina toplote da jedinici količine materije (npr. metala $1 kg$) povisi temperaturu za $1K$ ($^{\circ}C$). Ovo svojstvo je važno kod procesa termičke obrade.

Toplotna provodljivost k (W/mK) je sposobnost metala da provodi toplotu. Pokazuje koja količina toplote može preći u jedinici vremena kroz metal dužine $1m$ i preseka $1cm^2$.

Što je toplotna provodljivost veća, to se veća količina toplote može preneti kroz isti poprečni presek u istom vremenu. **Toplotna provodljivost** je količina toplote Q , koja se za vreme t sprovede kroz supstancu na rastojanju L , u pravcu normalnom na poprečni presek površine S , usled temperaturne razlike ΔT .

$$\text{toplotna provodljivost} = \frac{\text{količina provedene toplote} \times \text{rastojanje}}{\text{površina} \times \text{temperaturna razlika}} \quad k = \frac{Q}{t} \cdot \frac{L}{S \cdot \Delta T}$$

Toplotna provodljivost materijala zavisi od njegovog hemijskog sastava, građe, agregatnog stanja, kao i okolne temperature i pritiska. Materijali bolje provode toplotu kada se prosečna okolna temperatura poveća. Ovo svojstvo je važno za proces zavarivanja.

Svojstvo materije da menja zapreminu, u zavisnosti od temperature je **termička dilatacija**. Širenje tela je srazmerno promeni temperature, a odnos koji postoji između ove dve veličine se zove koeficijent toplotnog istezanja i uglavnom se menja s temperaturom. Materijali koji se sa povećanjem temperature skupljaju su retki i to važi samo za određene temperature. To se zove anomalija, a poznato je da voda ima anomaliju između 0°C i 4°C . **Koeficijent toplotnog (linearnog) širenja** α (K^{-1}) daje prirast dužine, sveden na jedinicu dužine, pri zagrevanju za 1K ($^{\circ}\text{C}$).

Ne može se zanemariti pri izradi mašina ili bilo kojih konstrukcija, pri izradi preciznih mernih instrumenata, pribora, kalibara i delova mašina koji rade pri povišenim temperaturama. Pojedine legure imaju vrlo mali koeficijent toplotnog širenja. Na primer "invar" (legura čelika sa niklom: 65% Fe i 35% Ni) ima $\alpha=0$ od -10°C do $+90^{\circ}\text{C}$, ali pri povišenim temperaturama iznad 100°C α brzo raste.

Ovo svojstvo je važno za proces livenja.

Električna provodljivost G (simens Ω^{-1}) je svojstvo materijala da provodi električnu struju odnosno predstavlja količnik jačine električne struje I i napona U , tj. obrnuto je proporcionalna električnom otporu R materijala. $G=IU=1/R$.

Bakar Cu i aluminijum Al spadaju u najbolje provodnike električne struje.

Električni otpor R (om Ω) je mera sposobnosti materijala da se suprotstavi proticanju električne struje. Što je dužina provodnika l veća a presek S manji, to je i otpor provodnika veći. $R=\rho \cdot l/S$

Magnetna svojstva podrazumevaju sposobnost metala da pod dejstvom magnetnog polja postanu trenutni ili trajni magneti. Na osnovu ponašanja metala u spoljašnjem magnetnom polju, razlikuju se tri vrste metala: dijamagnetni, paramagnetni i feromagnetni metali (specijalan slučaj paramagnetnih metala, sa sposobnošću uvećanja gustine magnetne indukcije).

Pri unošenju dijamagnetnog metala u magnetno polje ono slabi (unutrašnje magnetno polje suprotstavlja spoljašnjem), a pri unošenju paramagnetnog metala u magnetno polje ono se povećava (unutrašnje magnetno polje se poklapa sa spoljašnjim).

Dijamagnetni metali su: Cu , Au , Ag , Zn i dr. Paramagnetni metali su: Al , Be , Mo , W i dr. Feromagnetni materijali su: Fe , Co , Ni i dr.

Boja. Manji broj metala razlikuju se od drugih bojom, kao što su: bakar *Cu* - crvena boja, zlato *Au* - žuta boja, srebro *Ag* - bela boja, aluminijum *Al*, mangan *Mn*, olovo *Pb* - sivo bela boja itd. Metali u vrlo u isitnjenom stanju imaju obično sivu ili crnu boju. Međutim, dužim stajanjem na vazduhu (slobodnoj atmosferi) većina metala oksidira i tamni osim zlata, srebra i platine, ili pak oksidiraju kao aluminijum i njegove legure, stvarajući zaštitni sloj, ne menjajući svoju boju na duži period vremena.

1.3 MEHANIČKA SVOJSTVA METALA

U mehanička svojstva metala spadaju: čvrstoća, tvrdoća, elastičnost, plastičnost, žilavost i zamor materijala.

Čvrstoća (jačina materijala) je svojstvo materijala da se odupre razaranju pod dejstvom spoljašnje sile. Dinamička čvrstoća materijala izražava se udarnom žilavošću, odnosno krtošću i određuje se izlaganjem uzorka materijala dinamičkom (udarnom) naprezanju.

U zavisnosti od karaktera spoljnih sila razlikujemo: zateznu čvrstoću, čvrstoću na pritisak, čvrstoću na savijanje, čvrstoću na uvijanje itd. Granicom čvrstoće σ_m nazivamo naprezanje izazvano maksimalnom silom pre razaranja uzorka i izražavamo je u ($N/mm^2=MPa$).

Tvrdoća metala predstavlja otpor materijala prema prodiranju drugog (tvrđeg) materijala u njega. Tvrdoća se određuje na različite načine u zavisnosti od materijala koji se ispituje i samog načina ispitivanja.

Elastičnost je osobina materijala da povrati prvobitni oblik posle prestanka dejstva spoljašnje sile koja je izazvala deformaciju. Ovo je moguće samo onda ako naprezanjem kojim je izazvana promena oblika nije prekoračena granica elastičnosti. *Granica elastičnosti* je granični napon do kojeg ne nastaju nikakve trajne deformacije u materijalu.

Plastičnost je osobina materijala da se može deformisati pod dejstvom spoljašnje sile u toplom ili hladnom stanju, a da pri tome zadrži oblik posle prestanka dejstva sile.

Veliki broj delova mašina i konstrukcija izložen je u toku rada udarnim - dinamičkim opterećenjima. Takva opterećenja materijali daleko teže podnose od mirnih - statičkih opterećenja. **Žilavost** je otpor koji pokazuje metal na udarna opterećenja.

Usled dugotrajnog dejstva periodično promenljivih opterećenja nastaje postepeno razaranje materijala. Ta pojava naziva se **zamor materijala**, a tako izazvan prelom – prelom usled zamora. Za pojavu loma nije od odlučujućeg značaja samo visina opterećenja, već i učestalost njegovog ponavljanja. Pri učestalom ponavljanju nekog opterećenja mnogi mašinski delovi se lome, iako je to opterećenje znatno manje od statičkog opterećenja potrebnog za lom.

1.4 TEHNOLOŠKA SVOJSTVA

Tehnološka svojstva metala su opšte rečeno sposobnost metala da se dalje obrađuju.

U tehnološka svojstva spadaju: obradivost, trajnost materijala, specifične tehnološke osobine pogonskih materijala i dr.

Obradivost materijala je sposobnost konstrukcionih materijala da se mogu obrađivati raznim procesim obrade u prerađivačkoj industriji.

Pod obradivošću podrazumeva se više tehničkih karakteristika materijala koje se uglavnom svode na sledeće osobine:

Plastičnost je sposobnost pojedinih materijala da se trajno deformišu pod uticajem spoljašnjih sila.

Kovnost je sposobnost, isključivo, metala i legura, da se mogu plastično oblikovati u hladnom i zagrejanom stanju, pod dinamičkim dejstvom sile (udarom) ili pritiskom. Plastični materijali su obično i kovni.

Livkost je osobina pojedinih materijala da u tečnom stanju mogu ispuniti livački kalup i očvrtnuti u njemu (rastopljen metal, sveža betonska masa itd.).

Rezivost je osobina većine materijala da se mogu obraditi rezanjem pomoću odgovarajućih alatnih mašina: struganjem, glodanjem, rendisanjem, brušenjem itd.

Zavarljivost je osobina metala i pojedinih nemetala da se mogu spojiti na odgovarajućoj temperaturi korišćenjem metalnih šipki - elektroda. Elektrode su od istog ili približnog materijala kao i predmeti koji se zavaruju.

Termička obradljivost je sposobnost da kod materijala, pri ciklusu kontrolisanog zagrevanja i hlađenja, dolazi do promene njihove strukture i time do promene osobina.

Trajnost ili postojanost je jedna od važnijih osobina kako konstrukcionih tako i pogonskih materijala, kojom se označava otpor materijala prema raznim uticajima, koji utiču na skraćenje veka trajanja materijala, a samim tim i konstrukcije.

Trajnost materijala je u funkciji fizičko-mehaničkih, hemijskih i drugih štetnih uticaja. Razaranje materijala pod hemijskim i elektrohemijskim uticajima poznato je pod opštim nazivom **korozija**, dok se razaranje pod čisto mehaničkim uticajima naziva **habanje-abrazija**.

Otpornost na habanje je sposobnost materijala da se opiru habanju, oštećenju površine ili promeni dimenzija pod dejstvom sila trenja.

Usled ovih štetnih uticaja konstrukcioni materijali izloženi su intenzivnom propadanju zbog njihove loše ili nikakve zaštite.

Pri izboru materijala za konstrukciju polazi se od:

- Mehaničkih osobina (svojstva otpornosti i deformacije, tvrdoća)
- Specifične gustine (utiče na nosivost)
- Tehnoloških osobina (livkost, kovnost, zavarljivost, mašinska obradljivost..)

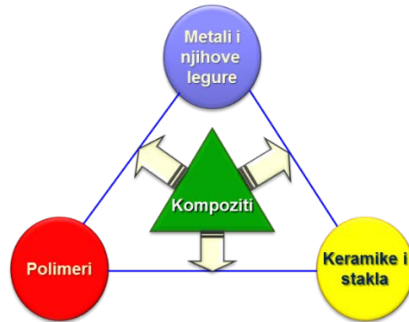
Nema konstrukcionog materijala koji podjednako ispunjava sve gornje zahteve. Stoga se materijal bira prema radnim uslovima i tehnološkim mogućnostima prerade, kao i veka

trajanja, ekonomske cene i njegove raspoloživosti na tržištu, što je danas jedan od jako važnih uticajnih faktora pri izboru materijala.

Pitanje: Šta određuje kvalitet jednog materijala?

Kvalitet jednog materijala je određen hemijskim sastavom materijala, mikrostrukturom i osobinama materijala.

Materijali koji se upotrebljavaju u mašinstvu.



Ne postoji najbolji materijal već postoji za odgovarajuću namenu, odgovarajući materijal!!!

2. OSOBINE METALA

Metalni materijali su neorganske materije koje se sastoje iz jednog ili više metala a mogu da sadrže i neke nemetale kao što su ugljenik *C*, azot *N*, kiseonik *O*.

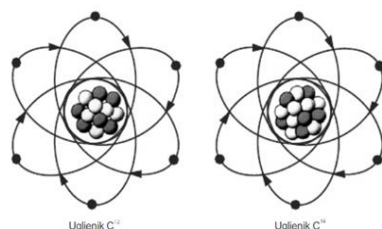
Osobine metala:

- Kristalna struktura
- Dobra električna provodljivost
- Toplotna provodljivost

2.1 STRUKTURA ATOMA

Najmanja čestica materije koja ima karakter hemijskog elementa je ATOM. On je sastavljen od tri vrste čestica: protona, neutrona i elektrona. Proton i neutron zajedno obrazuju jezgro atoma, dok spoljne delove atoma čine elektroni neuporedivo manje mase. Protoni su pozitivno naelektrisani, a elektroni negativno, tako da je atom u električnom pogledu neutralan. Atomski broj (*Z*) je određen brojem protona u jezgru, odnosno brojem elektrona u atomu. Taj broj određuje i redni broj elementa u periodnom sistemu. U svakom atomu, protoni i neutroni gusto su zajednički spakovani i čine oko 99.9% ukupne mase atoma, a ostatak mase čine elektroni. Broj protona i neutrona u jezgru naziva se maseni broj (*A*).

Hemijski elementi kod kojih jezgro sadrži isti broj protona, a različit broj neutrona su **izotopi**. Mase izotopa su različite ali su im indentične hemijske osobine. Na pr. stabilan izotop ugljenika C^{12} ima 6 protona i 6 neutona, dok radioaktivni ugljenik C^{14} ima 6 protona i 8 neutrona, kao na slici:



Stabilan (a) i radioaktivni izotop ugljenika (b)

Elektroni se kreću oko jezgra atoma po stalnim orbitama, uslovljenim ravnotežom elektrostatičkih privlačnih sila (e^2/r^2) i centrifugalne sile (mv^2/r), gde je: m - masa elektrona, v - obimna brzina elektrona, e - naelektrisanje elektrona, r - poluprečnik orbite elektrona.

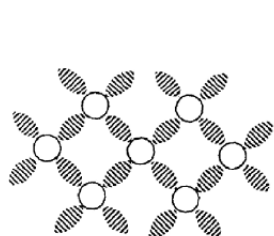
Gradivne čestice materije (atomi, molekuli) održavaju se u određenim položajima delovanjem električnih privlačnih i odbojnih sila koje su najjače kad je materija u čvrstom stanju, slabije u tečnom i zanemarljive u gasovitom stanju.

Hemijske veze između atoma i molekula dele se na primarne (jake) i sekundarne (slabe). Jake veze mogu biti kovalentne, jonske i metalne, a slabe nastaju između molekula koji imaju stalne ili promenljive dipole.

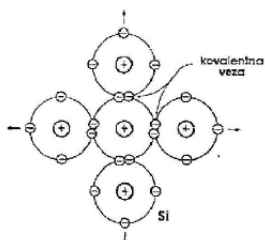
Kovalentna (atomna) veza - stabilna elektronska konfiguracija postiže se zahvaljujući stvaranju zajedničkih parova. Kovalentne parove obrazuju dva elektrona - po jedan od svakog atoma.

Čista kovalentna veza: ugljenik u obliku dijamanta (C), silicijum i germanijum. Vidi slike.

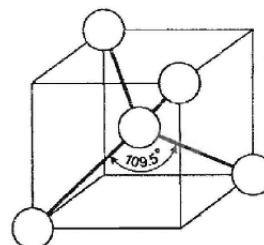
Materijali sa kovalentnom vezom su kruti i loši provodnici električne energije i toplote.



Šema kovalentne veze kod ugljenika



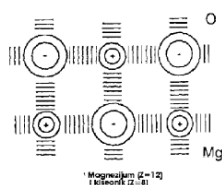
Šema kovalentne veze kod silicijuma



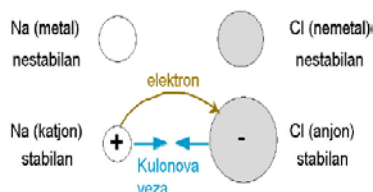
Kristalna struktura silicijuma

Jonska veza nastaje spajanjem atoma metala s atomima nemetala, tj. obrazuje se između dva atoma od kojih jedan daje elektropozitivne jone (metal), a drugi elektronegativne (nemetal). Pošto atom metala ostaje bez elektrona, on postaje pozitivno naelektrisan jon. Istovremeno, atom nemetala koji je te elektrone primio postaje negativno naelektrisan jon.

Jedinjenja nastala od metala i nemetala: NaCl, MgO, Al₂O₃.



Šema jonske veze



Šema stvaranja jonske veze kod NaCl



Kristalna struktura NaCl

Materijali sa jonskom vezom su kruti, tvrdi, nisu plastični i ne provode električnu struju.

Metalna veza se ostvaruje pomoću slobodnih elektrona koji su slabo vezani za pozitivne jone, te se lako kreću kroz kristal i u obliku elektronskog oblaka zauzimaju veći deo prostora. Slobodni elektroni zajednički su za sve atome i povezuju ih kao lepak u čvrstu celinu. U običnim uslovima, kretanje valentnih elektrona je slučajno i ograničeno, a u električnom naponskom polju postaje usmereno. Zahvaljujući tome **metali spadaju u**

električne provodnike prve vrste i velike provodnike toplote. Materijali sa metalnom vezom su istegljivi, kovni, deformabilni i imaju svojstvo plastičnosti.



Metalna veza

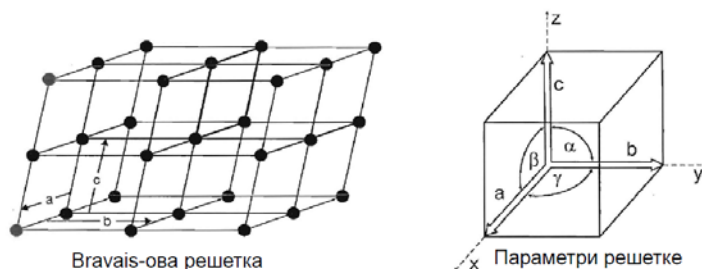
2.2 STRUKTURA KRISTALA

KRISTAL predstavlja čvrsto stanje materijala u kome su atomi (joni ili molekuli) pravilno raspoređeni u prostoru.

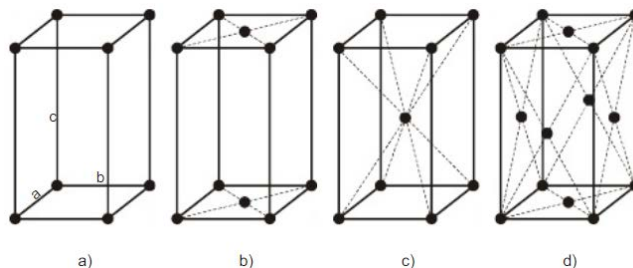
Tipični predstavnici kristalnih materija jesu metali. U grupu metala spada, od ukupnog broja od 106 elementa svrstanih u periodnom sistemu, gotovo tri četvrtine, ostalo čine nemetali. Svi su metali (izuzev žive) na normalnoj temperaturi kristalni (u čvrstom stanju) i odlikuju se visokom električnom i toplotnom provodljivošću i pre svega se po tim osobinama razlikuju od nemetala.

Kristalna struktura odlikuje se pravilnim ponavljanjem rasporeda atoma. Najmanji deo kristala zove se elementarna ćelija, a više ćelija obrazuju prostornu rešetku. Termin rešetka je matematička apstrakcija i predstavlja sistem pravilno periodično raspoređenih tačaka (čvornih mesta) u prostoru. Za opis elementarne ćelije kao i kretanja atoma u rešetki neophodno je definisati položaj atoma (koordinate), pravce i ravni u ćeliji.

Osnovna ćelija ili elementarna kristalna rešetka definisana je sa šest parametara: veličinom translacijskih vektora a , b , c i uglovima među njima α , β , γ .



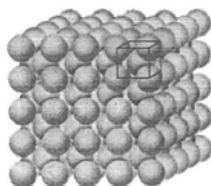
Prema načinu popunjavanja elementarne ćelije odgovarajućim česticama (iste vrste) mogu se dobiti u kristalografskom ortorombičnom sistemu sledeći tipovi rešetki: primitivna, bazno centrirana, prostorno centrirana i površinski centrirana (slika).



a) Primitivna (prosta, jednostavna) – elementarnoj ćeliji pripada po jedna čestica (atom); u svakom roglju (čvoru) elementarne ćelije nalazi se 1 atom koji je zajednički za svih osam ćelija ($(8 \cdot 1/8) = 1$),

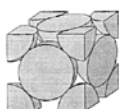
b) Bazno centrirana – elementarna ćelija ima po jedan atom na svakom roglju i još po jedan atom u sredini donje i gornje osnove; to znači da na elementarnu ćeliju dolazi 2 atoma ($(8 \cdot 1/8 + 2 \cdot 1/2) = 2$)

c) Prostorno (zapreminski) centrirana (ZCK) - ima po jedan atom u rogljevima elementarne ćelije i jedan atom u njenom središtu; to znači, da elementarnoj ćeliji pripadaju 2 atoma ($8 \cdot 1/8 + 1 = 2$)



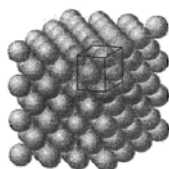
Neki od metala sa zapreminski centriranom kubnom strukturom su *V* (vanadijum), *Cr* (hrom), *Nb* (niobijum), *Mo* (molibden), *W* (volfram),...

d) Površinski centrirana (PCK) - ima u elementarnoj ćeliji po jedan atom na svakom roglju i po jedan atom u sredini svake strane; elementarnoj rešetki tada pripada 4-atoma ($(8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2) = 4$)

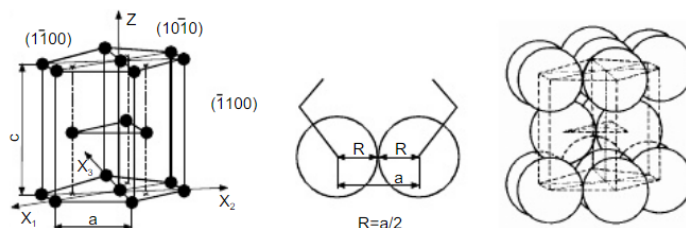


Elementarnoj PCK ćeliji pripada 4 atoma, osam atoma na rogljevima kocke po 1/8 i šest na stranicama kocke sa po 1/2

Metali sa površinski centriranom kubnom strukturom su: *Cu* (bakar), *Ag* (srebo), *Au* (zlato), *Pb* (olovo), *Al* (aluminijum), *Co* (kobalt), ...



e) najgušća heksagonalna rešetka - elementarna rešetka je prizma, čiju osnovu čini ravnostrani šestougao sa stranom a ; visina prizme je c . Atomi su smešteni u svakom čvoru osnove (bazalne ravni), jedan atom je uvek u sredini donje i gornje osnove, a dalja tri smeštena su na sredini duži koja spaja čvor bazalne ravni i središta susedne bazalne ravni. Jednoj elementarnoj ćeliji pripada 6 atoma, jer je svaki rubni atom zajednički za šest susednih rešetki, oba atoma u sredini osnove pripadaju svaki dvema rešetkama i tri atoma unutar rešetke koji pripadaju samo toj ćeliji, to znači $12 \cdot 1/6 + 2 \cdot 1/2 + 3 \cdot 1 = 6$.



Slika 1.24 Heksagonalna rešetka sa najgušćim rasporedom

Tehnički važni metali, koji se kristališu po ovom tipu rešetke jesu npr. *Be* (berilijum), *Mg* (magnezijum), *Zn* (cink), *Cd* (kadmijum), i dr.

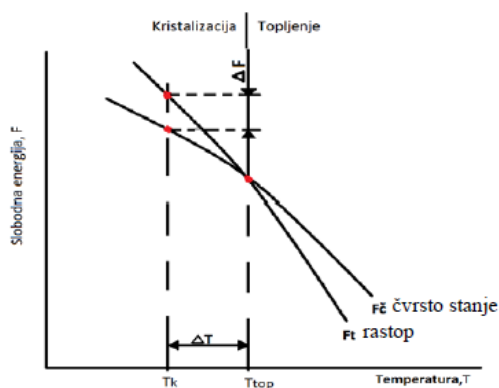
2.3 KRISTALIZACIJA

Pod **kristalizacijom** podrazumevamo prelaz rastopljenog metala ili legure u čvrsto stanje. Kristalna struktura metala nastaje kada se atomi raspoređuju po jednom određenom pravilu stvarajući kristalnu rešetku svojstvenu za dati metal.

Kada bi očvršćavanje metala bilo potpuno slobodno, oblik kristala bi bio uvek geometrijski pravilan. Međutim centri kristalizacije se istovremeno pojavljuju, na više mesta, tako da je sam rast kristala ometan kristalima susedima, te kristali ne mogu poprimiti uvek pravilni spoljni oblik. Ovako obrazovani kristali sa nepravilnim spoljnim oblikom nazivaju se **kristaliti** ili **zrna**, a struktura sastavljena od kristalita naziva se **polikristalna** što je obično slučaj kod metala i legura.

Rastojanja među atomima u kristalnoj rešetki mogu biti različita u raznim smerovima, što ima za posledicu da su i svojstva kristala u raznim smerovima različita, što se naziva **anizotropijom kristala**.

Na temperaturi očvršćavanja nastaje slaganje atoma u kristalografske rešetke, ali treba istaći i činjenicu da je struktura tečnog metala u blizini tačke topljenja veoma bliska strukturi čvrstog stanja. Tako osnovna razlika u kretanju atoma kod čvrstog i tečnog stanja je u tome što kod čvrstog stanja atomi samo osciluju oko tačno utvrđenih položaja u rešetki, a kod tečnog stanja nastaje periodično premeštanje grupe atoma iz jednog dela u drugi deo rešetke.



Kristalizacija započinje ako nastane razlika slobodnih energija čvrste i tečne faze, tako da slobodna energija čvrste faze postane niža od slobodne energije tečne faze.

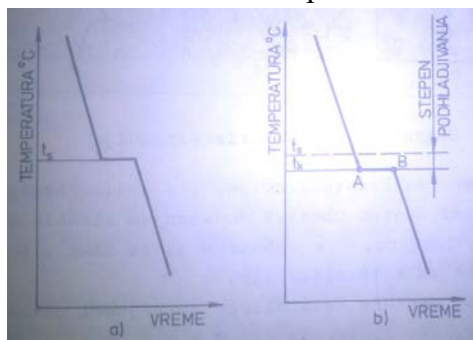
Na višim temperaturama od temperature topljenja stabilnija je tečna faza (ima manju vrednost slobodne energije).

Na nižim temperaturama od temperature topljenja stabilnija je čvrsta faza.

Na temperaturama topljenja, čvrsta i tečna faza imaju iste vrednosti slobodne energije.

Proces kristalizacije se odvija samo pri temperaturama koje su niže od temperature topljenja T_{top} .

Razlika između teoretske temperature očvršćavanja (temperature topljenja) $t_s = T_{top}$ i stvarne temperature t_k na kojoj počinje proces kristalizacije naziva se stepen podhlađivanja ΔT . Zavisi od vrste rastopa i brzine hlađenja i iznosi i do 10-40°.



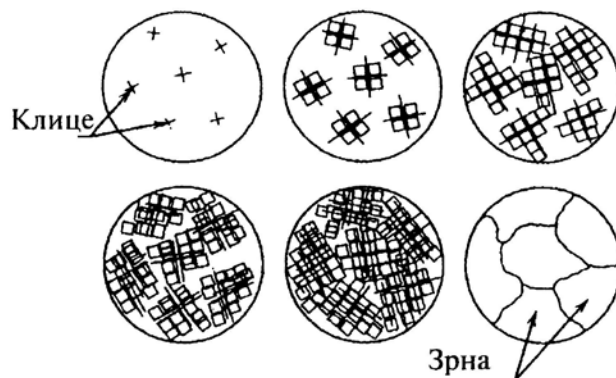
Kriva 1 - Čist metal očvršćava na konstantnoj temperaturi koja je predstavljena horizontalnom linijom na krivoj hlađenja. Tokom hlađenja rastopa, temperatura opada sve do vrednosti temperature kristalizacije t_s , temperature do koje treba da se ohladi tečna faza da bi došlo do kristalizacije.

Kriva 2 - U realnim uslovima proces kristalizacije odvija se pri nižoj temperaturi od t_s , stvarnoj temperaturi kristalizacije t_k .

Proces očvršćavanja u dijagramu temperatura-vreme

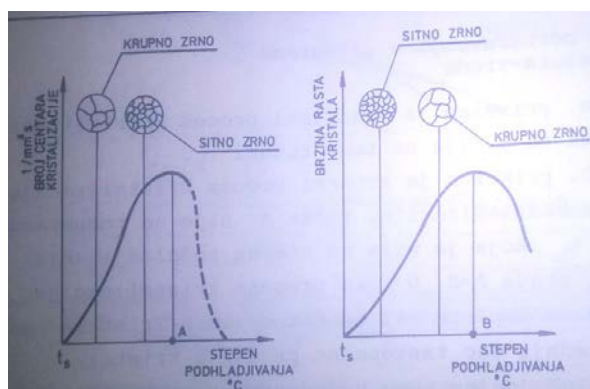
Početak kristalizacije je u tački A na temperaturi t_k i traje izvesno vreme, prava A-B. U toku procesa kristalizacije nastaje odavanje skrivene toplote ali se temperatura kristala neće menjati sve dok i poslednji deo rastopa ne pređe u kristale.

Usled hlađenja rastopljenog metala ili legure na određenoj temperaturi nastaje sređivanje atoma u rešetke, po strogo utvrđenom rasporedu što se odvija u dve faze, putem stvaranja centra za kristalizaciju (klice) i njihovog daljeg rasta.



Šematski prikaz kristalizacije

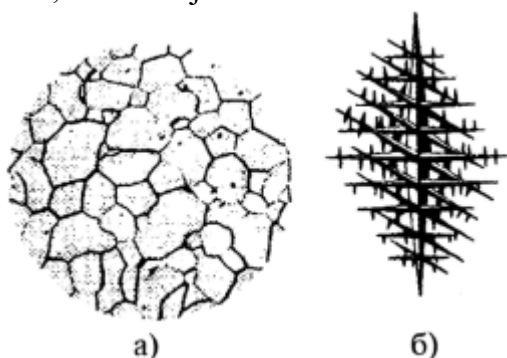
Stvaranje centra za kristalizaciju nastaje spontano, a njihov broj zavisi od stepena podhlađivanja.



Povećanjem stepena podhlađivanja raste broj centra za kristalizaciju sve do postizanja nekog stepena podhlađivanja (tačka A), a zatim se taj broj centra naglo smanjuje.

Brzina rasta kristala zavisi od stepena podhlađivanja i od temperature rastopa. Najveća brzina rasta kristala, tačka B, iznosi za temperaturu podhlađivanja oko 20-30°.

Stepen podhlađivanja ne utiče samo na broj centra kristalizacije i veličinu nastalih zrna, već i na njihov oblik.



Izgled kristalnih zrna: a) poligonalna zrna, b) dendrit

Kada je stepen podhlađivanja veoma mali, obrazuju se kristali pravilnih geometrijskih oblika-poligonalna zrna. Međutim, kada je stepen podhlađivanja veliki, obrazuju se kristali drugačijih oblika, a jedan od njih je i dendritni oblik. Za nastanak dendritnog oblika kristalnog zrna karakteristično je da se rast klica odvija neravnomernom brzinom u različitim pravcima. Veličina i oblik zrna utiču na mehaničke osobine metalnih materijala. Čvrstoća i žilavost materijala se povećavaju sa smanjenjem veličine zrna. Igljasti oblik kristala utiče na povećanje krtosti.

“U svetu je malo šta idealno, pa ni kristali nisu idealni...”

2.4 NESAVRŠENSTVO KRISTALNE STRUKTURE

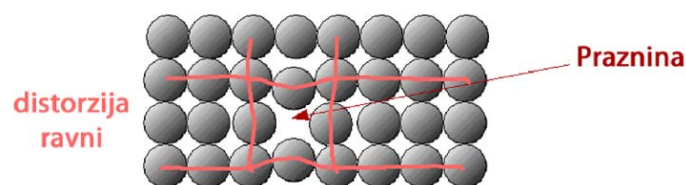
Greške kristalne rešetke imaju uticaja na mnoga fizička i mehanička svojstva materijala, kao što su:

- električna provodljivost,
- brzina difuzije atoma u leguri,
- korozija metala,
- obrada metala deformisanjem u hladnom stanju.

Nesavršenosti kristalne rešetke mogu se razvrstati po njihovoj geometriji i obliku, odnosno dimenzijama u prostoru na:

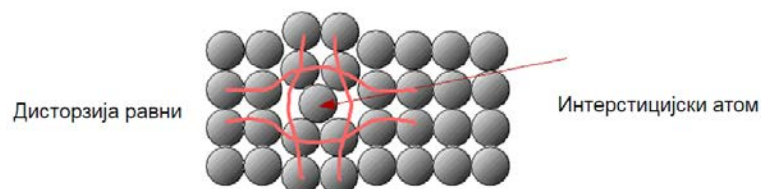
- Tačkaste greške; razlikuju se praznine atoma (vakancije) i intersticijski atomi (atomi smešteni mimo čvora kristalne rešetke)
- Linijske greške (dislokacije)
- Površinske (ravanske) greške
- Zapreminske greške - šupljine, uključci, sekundarne faze, prsline (više tehnološke nego greške kristalne strukture)

Tačkaste greške su reda veličine atoma. Najjednostavnija tačkasta greška je praznina, mesto atoma, (čvor rešetke) sa koga nedostaje atom (vakancija). Praznine mogu nastati u toku očvršćavanja kao rezultat lokalnih poremećaja, u toku rasta kristala, kao rezultat premeštanja atoma iz regularnog položaja ili usled oscilovanja atoma, pri čemu za sobom ostavljaju prazno mesto.



Praznine (vakancije): - Nedostajući atom u rešetki

Drugi oblik tačkaste greške je umetnuti (intersticijski atom) –“ekstra“ atom se pozicionira među druge atome. U isto vreme izbačeni atome iz svoje čvorne tačke se smešta u intersticijski položaj i ujedno njegova čvorna tačka ostaje prazna.

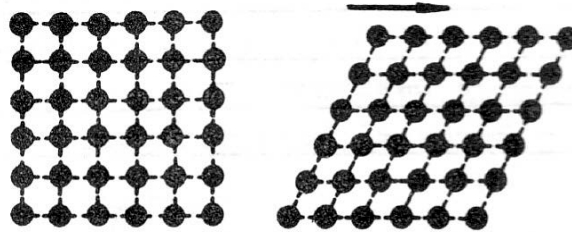


Linijski defekti (dislokacije) se u kristalu mogu obrazovati na više načina. Najčešće nastaju usled klizanja pojedinih oblasti kristala tokom njihovog rasta ili pri plastičnoj deformaciji.

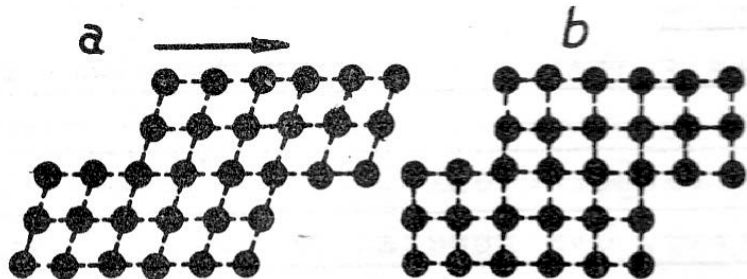
Površinske greške predstavljaju složenije narušavanje kristalne rešetke od tačkastih i linijskih grešaka.

Pod dejstvom spoljašnjih sila, na metal, dolazi do deformacija rešetke, koje mogu biti elastične i plastične. Do deformacija rešetke dolazi nakon savladavanja kohezione sile među atomima od strane spoljnih sila.

Elastične deformacije kristalne rešetke odražavaju se sa neznatnim međusobnim pomeranjem atoma (slika) i nestaju sa prestankom delovanja spoljnih sila.



Plastične deformacije nastaju pod dejstvom većih spoljnih sila, koje se odražava na pomeranje jedne grupe atoma u odnosu na drugu, te nakon prestanka delovanja spoljnih sila nestaju elastične (a) a ostaju plastične deformacije (b) (slika).



Prema slici vidimo da je pod dejstvom spoljnih sila došlo do pomeranja gornja dva reda atoma u odnosu na donje, za dva atomska razmaka u desno. Dobija se utisak da je čitava gornja naslaga atoma proklizala u desno u odnosu na donje naslage. Ova pomeranja naslaga atoma jedne prema drugim nastaju na ravnima najveće zaposednutosti atomima, i to su **ravni klizanja**, a u smeru pravca najveće zaposednutosti, što predstavlja **pravce klizanja**.

Metali koji kristališu po:

- površinski centriranoj kubnoj rešetki su rastegljivi, obzirom da ova rešetka ima najveći broj ravni klizanja i kliznih pravaca.
- prostorno centriranoj kubnoj rešetki su otporni, jer ima mnogo manje ravni klizanja kao i kliznih pravaca, što ne znači da nećemo naći neki srazmerno pogodan smer klizanja samo će ovde zbog nedostatka pravih ravni klizanja otpor delovanju spoljnih sila biti veći.

Zaključci

- Tačkaste, linijske i površinske greške se javljaju u čvrstim telima
- Broj i tip greške može varirati i kontrolisati (npr. temperaturom se kontroliše koncentracija praznina)
- Greške utiču na osobine materijala (npr. granice zrna utiču na klizanje u kristalu)
- Greške mogu biti poželjne ili neprihvatljive (npr. dislokacije mogu biti dobre ili loše, zavisno od toga da li je plastična deformacija poželjna ili ne).