

## I. Osnove građe materijala

### I.1. Materijali, tvari, molekule i atomi

Tehnički materijali su materijali koji se rabe u tehničkoj praksi za izradu različitih građevina, konstrukcija, strojeva i sl. Neki od tih materijala su: glina, beton, drvo, staklo, plastika... Najznačajniji tehnički materijali u strojarскоj praksi su: čelik, lijevano željezo, obojeni metali (bakar, aluminij, cink, krom i drugi), drvo, staklo plastične mase, goriva i maziva.

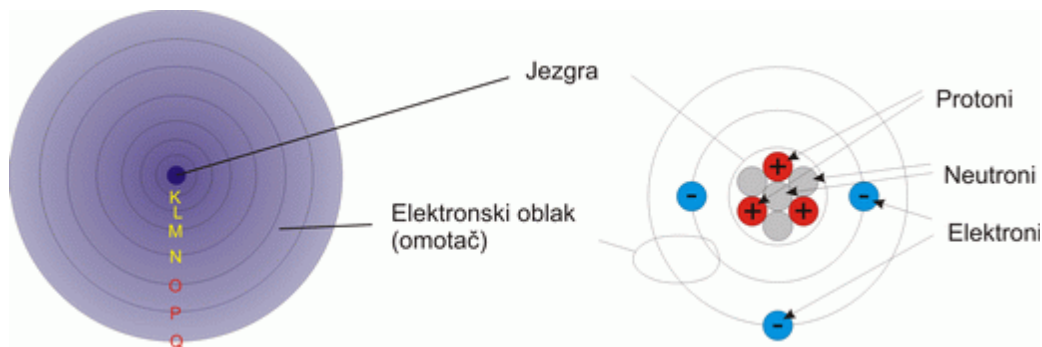
Naziv "materijal" potječe od riječi **materija** koja je istoznačnica riječi "**tvar**" a označava ono od čega je nešto načinjeno. Tvari mogu postojati kao čiste, kao spojevi ili kao smjese. **Čiste tvari** su na primjer: vodik ( $H_2$ ), kisik ( $O_2$ ), fosfor ( $P_4$ ), čisto željezo, čisti bakar, čisti cink itd.. U **spojeve** spadaju: voda ( $H_2O$ ), amonijak ( $NH_3$ ), sumporna kiselina ( $H_2SO_4$ ) itd., a u **smjese** se ubrajaju: zrak, plinovi nastali izgaranjem goriva, modra galica, beton itd.

Prema unutarnjoj građi tvari se može podijeliti na metale i nemetale. Najmanje čestice čistih tvari koje imaju svojstva tih tvari su **atomi**, a najmanje čestice spojeva koje imaju svojstva tih spojeva su **molekule**. Molekule su sastavljene od dvaju pa sve do nekoliko stotina tisuća međusobno povezanih atoma.

### I.2. Građa atoma

Atom je najsitnija čestica kemijskog elementa koja ima svojstva tog elementa. Atomi se kemijskim postupcima ne daju dijeliti, a na manje dijelove mogu se podijeliti postupkom nuklearne fisije. Nuklearnom fisijom se jezgra jednog teškog elementa dijeli na dvije ili više jezgara drugih lakih kemijskih elemenata uz oslobađanje velike količine energije.

Atom se sastoji iz jezgre i omotača (slika 1). U jezgri su pozitivno nabijeni protoni i neutralni neutroni, a oko nje se na različitim udaljenostima po kružnim i eliptičnom stazama gibaju negativno nabijeni elektroni.



Slika I.1. Struktura atoma (atom litija)

Kaže se da se elektroni nalaze u ljuskama. Postoji sedam različitih ljuski, a broj ljuski i broj elektrona u svakoj ljuski razlikuje se od elementa do elementa.

U atomu je broj protona i broj elektrona jednak, pa je atom **električki neutralan sustav**. Međutim atomi mogu otpuštati ili primati elektrone drugih atoma i time postati **ioni**. Atomi

koji otpuste pojedine elektrone postaju električki pozitivni i zovu se **kationi**, a atomi koji prime pojedine elektrone postaju električki negativni i zovu se **anioni**.

Atom svakog elementa određen je:

- atomskim ili rednim brojem i
- masenim brojem

**Atomski** ili **redni broj** je broj protona ili elektrona u nekom atomu.

**Maseni broj** je zbroj protona i neutrona.

### I.3. Veze između atoma

Atomi se mogu kemijskim putem spajati sa istovrsnim ili raznovrsnim atomima i time tvoriti elementarne tvari ili spojeve. Razlog stupanja u vezu je ostvarivanje stabilne elektronske konfiguracije, a način vezanja ovisi o vrsti atoma koji stupaju u vezu. Razlikuju se tri vrste veza između atoma:

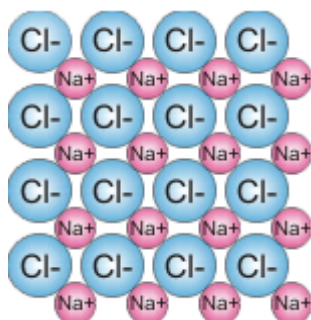
- kovalentna,
- ionska i
- metalna

**Kovalentna veza** nastaje između nemetalnih atoma istih ili različitih elemenata. Svaki atom otpušta po jedan elektron i postaje kation. Od otpuštenih elektrona nastaje zajednički elektronski par koji se zadržava između kationa i povezuje ih. Spojeve s kovalentnim vezama karakterizira *slaba veza između molekula, laka isparljivost, slaba električna vodljivost, slaba topivost u vodi* itd. Neke tvari s kovalentnim vezama su:

- plinovite tvari: vodik ( $H_2$ ), kisik ( $O_2$ ), ugljični dioksid ( $CO_2$ ), sumporni dioksid ( $SO_2$ ) i sl,
- izrazito tvrde tvari: dijamant (C), nemetalni karbidi (silicijev karbid –  $SiC$ , bor karbid –  $B_4C$ ), nemetalni nitridi (silicijev nitrid –  $Si_3N_4$ , bor nitrid –  $BN$ ) i sl.
- organski spojevi: jednostavni ugljikovodici (metan -  $CH_4$ , etan -  $C_2H_6$ ), složeni ugljikovodici (vinilklorid  $C_2H_3Cl$ ) i sl.



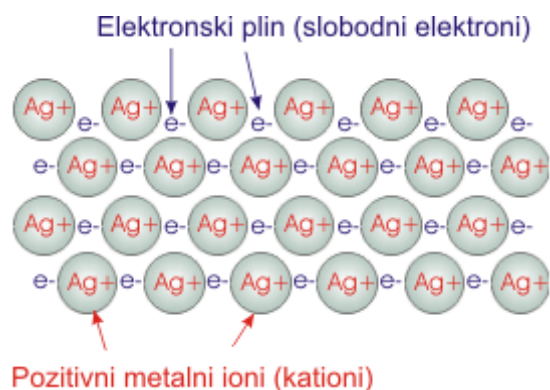
Slika I.2. Jednostruka kovalentna veza



**Ionska veza** nastaje između atoma nemetala i atoma metala na taj način da metalni atomi otpuštaju vanjske elektrone i postaju kationi, a nemetalni atomi primaju te elektrone i postaju anioni. Ionske tvari *vode električnu struju, dobro otapaju se u vodi i imaju visoku temperaturu taljenja*. Spojevi s ionskim vezama su:

- metalni oksidi ( $Na_2O$ ),
- metalni hidroksidi ( $NaOH$ ),
- soli ( $NaCl$ ) i sl.

Slika I.3. Ionska veza



**Metalna veza** nastaje spajanjem većeg broja istoimenih metalnih atoma. Atomi odbacuju određen broj elektrona i raspoređuju se u pravilan rešetkasti raspored, a odbačeni elektroni se neometano gibaju između kationa i povezuju ih.

slika I.4. Metalna veza

## I.4. Osnovna svojstva metala

**Metali** su skupina elemenata u lijevom dijelu periodnog sustava elemenata. Ima ih ukupno 76, a između njih i nemetala nema čiste granice već se između jednih i drugih nalaze polumetali (metaloide) (slika I.5. - sivo). **Polumetali** djelomično imaju svojstva metala, a djelomično svojstva nemetala.

The periodic table displays elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og). It includes group numbers (1-18), period numbers (1-7), and element symbols with atomic numbers. A legend on the left defines element categories: Metals (Metali), Nonmetals (Nemetali), Metalloids (Polumetali), and Noble gases (Plemeniti plinovi). A legend on the right defines element groups: s-block, d-block, p-block, and f-block. A legend on the bottom left defines element types: Metals (Metali), Nonmetals (Nemetali), Metalloids (Polumetali), and Noble gases (Plemeniti plinovi). A legend on the bottom right defines element types: Metals (Metali), Nonmetals (Nemetali), Metalloids (Polumetali), and Noble gases (Plemeniti plinovi).

Slika I.5. Periodni sustav elemenata

Metali se po svojim karakteristikama bitno razlikuju od drugih materijala. Imaju određenu temperaturu taljenja, karakterističan metalni sjaj, veliku moć refleksije svjetlosti, dobro vode električnu struju, mogu se kovati, zavarivati i lemiti, djelomično se daju toplinski

obrađivati itd. Većina metala je sive ili bijele boje osim crvenkastog bakra i žutog zlata. Na sobnoj temperaturi su u krutom stanju (osim žive), a u rastaljenom stanju se mogu miješati. Mješavine metala nazivaju se **legure** ili **slitine**, a uglavnom imaju bolja svojstva od metala od kojih su izgrađene. Legure mogu biti i mješavine metala s nemetalima (čelik).

Svojstva metala i drugih materijala može se podijeliti u četiri skupine:

- fizikalna svojstva,
- kemijska svojstva,
- mehanička svojstva i
- tehnološka svojstva,

#### **I.4.1 Fizikalna svojstva**

Fizikalna svojstva su: boja, sjaj, gustoća, toplinska i električna vodljivost i sl. Fizikalna svojstva su važna za prepoznavanje materijala, a toplinska i električna vodljivost vrlo često određuju područje uporabe. Npr. guma služi kao izolator, bakar kao vodič električne energije, krom i nikal služe za ukrašavanje i sl.

#### **I.4.2 Kemijska svojstva**

U kemijska svojstva spadaju: otpornost materijala na kiseline, lužine i atmosferilije. Neki materijali nisu otporni na svjetlost, a drugi su. Neke materijale nagrizaju kiseline, druge materijale nagrizaju lužine, a neki su materijali otporni i na kiseline i na lužine. Pri izboru materijala za neke konstrukcije važno je znati kakvim će kemijskim utjecajima te konstrukcije biti izložene i sukladno tim uvjetima odabrati odgovarajuće materijale. Tako se za čuvanje namirnica rabe staklo i određene vrste plastičnih materijala, u kemijskoj industriji se rabe nehrđajući čelici i sl.

#### **I.4.3 Mehanička svojstva**

Mehanička svojstva materijala određuju namjenu materijala i dimenzije dijelova. Najvažnija mehanička svojstva su: čvrstoća, tvrdoća, žilavost, statička izdržljivost, dinamička izdržljivost i sl.

**Čvrstoća** je otpor protiv kidanja veza između atoma. Prema načinu opterećenja dijelova u konstrukcijama razlikuje se šest tipova čvrstoće:

- čvrstoća na vlak
- čvrstoća na tlak
- čvrstoća na savijanje
- čvrstoća na izvijanje
- čvrstoća na odrez (smik)
- čvrstoća na uvijanje

Sve dijelove za primjenu u određenim konstrukcijama proračunava se na čvrstoću prema zadanom opterećenju. Tako se mostove proračunava na savijanje, temelje na tlak, vitke nosače na izvijanje, zakovice na odrez, vratila na uvijanje i sl.

**Tvrdoća** ima više definicija:

- Tvrdoća je otpor protiv zadiranja jednog materijala u drugi.
- Tvrdoća je otpor protiv mjestimičnog gnječenja materijala.
- Tvrdoća je otpor protiv razvijanja trenja između površina materijala koje taru jedna po drugoj.
- Tvrdoća je razmjerna elastičnosti materijala.

U praksi, tvrdoću materijala se vrlo često ispituje, a na temelju tvrdoće donose se zaključci o žilavosti i čvrstoći materijala.

**Žilavost** je otpornost materijala na dinamička (udarna) opterećenja. Pokretni dijelovi motora s unutarnjim izgaranjem i slični dijelovi moraju biti izrađeni iz žilavih čelika. Skupini žilavih čelika pripadaju čelici za opruge.

**Statička izdržljivost** je otpornost materijala prema djelovanju dugotrajnih mirnih opterećenja. Ispitivanju na statičku izdržljivost podvrgavaju se materijali za mostove i druge različite građevine. Pojava nastanka trajnih deformacija uslijed djelovanja dugotrajnih mirnih opterećenja naziva se puzavost.

**Dinamička izdržljivost** je otpornost materijala prema djelovanju dugotrajnih promjenjivih opterećenja. Ispitivanju na dinamičku izdržljivost podvrgavaju se materijali za opruge i druge dijelove koji su izloženi promjenjivim opterećenjima. Pojava nastanka trajnih deformacija zbog djelovanja dugotrajnih promjenjivih opterećenja naziva se umornost.

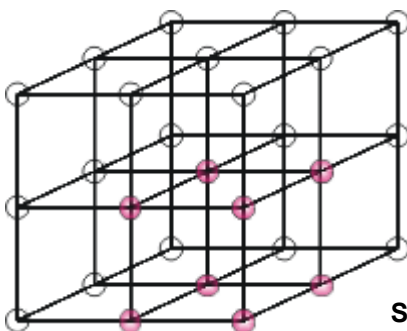
#### I.4.4. Tehnološka svojstva

Tehnološka svojstva opisuju ponašanje materijala u uvjetima obrade. Neka tehnološka svojstva su:

- |                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| • zavarljivost, | • kovnost                          |
| • lemljivost,   | • savitljivost                     |
| • ljevljivost,  | • sposobnost izvlačenja            |
| • rezljivost,   | • sposobnost dubokog vučenja i sl. |
| • zakaljivost,  |                                    |

### I.5. Građa metala

#### I.5.1. Kristali, kristaliti i kristalni sustavi



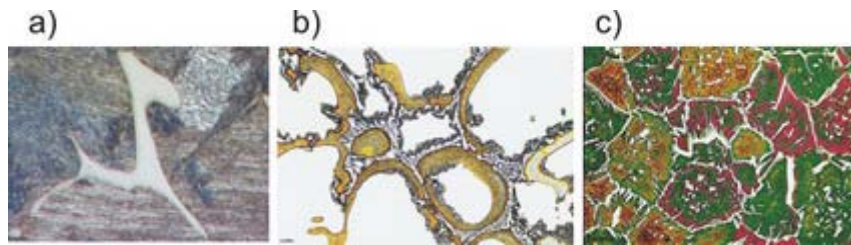
Metali su **kristalne građe** što znači da su im atomi raspoređeni u pravilnom prostornom rešetkastom rasporedu (slika I.6.).

Taj raspored proizlazi iz metalne veze i o njemu ovise mehanička svojstva metala. Osnovni kristal kristalne građe je jedna **prostorna rešetka**, a više povezanih kristalnih

Slika I.6. Kristalna građa



rešetki koje nastaju skrućivanjem metala čini **kristalno zrno** ili **kristalit**. Granice između kristalnih zrna mogu se vidjeti povećanjem strukture metala 50 do 500 puta ovisno o vrsti metala (slika I.7.).



**Slika I.7. Struktura nekih metala** (<http://haw-hamburg.de>);

a) čelik  
b) čelični ljev  
c) mesing

Prema broju i rasporedu atoma u kristalnoj rešetki razlikuje se četrnaest vrsta kristalnih rešetki svrstanih u sedam kristalografskih sustava:

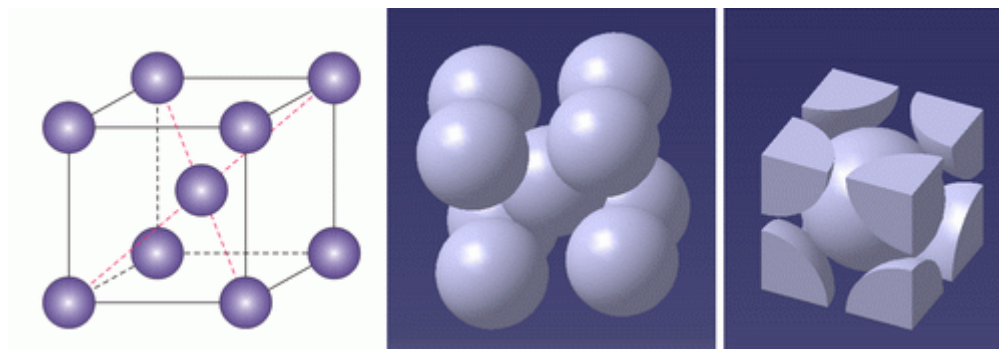
- kubni
- heksagonski
- tetragonski
- rombni
- romboedarski
- monoklinski i
- triklinski

Većina metala u strojogradnji kristalizira u kubnom, heksagonskom i tetragonskom sustavu, pa su najčešće rešetke:

- volumno (prostorno) centrirana kubna rešetka
- plošno centrirana kubna rešetka
- heksagonska rešetka i
- tetragonska rešetka

### 1.5.2. Volumno centrirana kubna rešetka (VCKR)

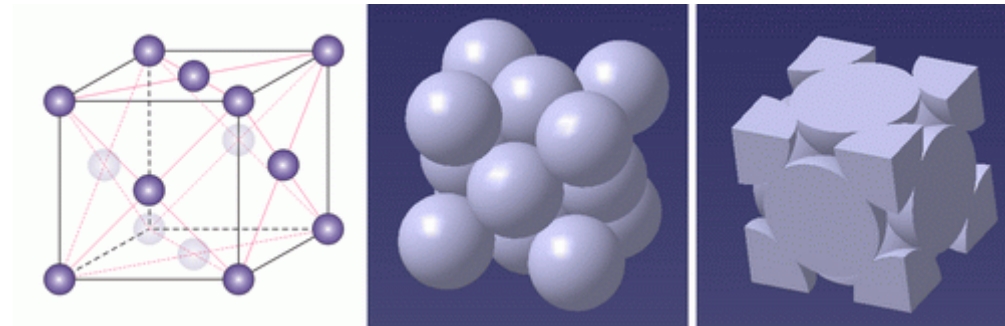
Volumno centrirana kubna rešetka ima osam atoma na vrhovima kuba i jedan atom u sjecištu prostornih dijagonala (slika I.8.). Atomi na vrhovima kuba osnovnoj rešetki pripadaju jednom osminom, a atom u sjecištu prostornih dijagonala osnovnoj rešetki pripada cijeli, pa jednoj volumno centriranoj kubnoj rešetki pripadaju ukupno dva atoma ( $8/8 + 1 = 2$ ).



**Slika I.8.**  
**Volumno centrirana kubna rešetka**

### I.5.3. Plošno centrirana kubna rešetka (PCKR)

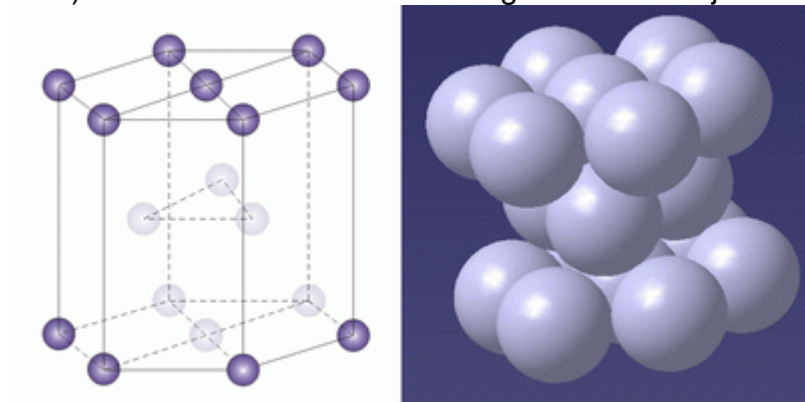
Plošno centrirana kubna rešetka ima osam atoma na vrhovima kuba i po jedan atom u sjecištima dijagonala ploha (slika I.9.). Atomi na vrhovima kuba osnovnoj rešetki pripadaju jednom osminom, a atom u sjecištima plošnih dijagonala osnovnoj rešetki pripadaju jednom polovinom. Tako jednoj plošno centriranoj kubnoj rešetki pripadaju ukupno četiri atoma ( $8/8 + 6/2 = 4$ ).



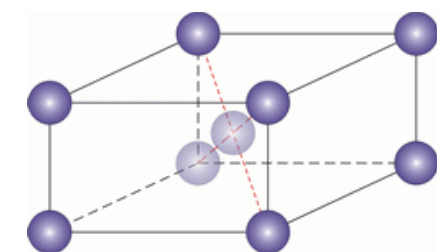
Slika I.9. Plošno centrirana kubna rešetka

### I.5.4. Heksagonska kompaktna rešetka

Heksagonska rešetka ima dvanaest atoma na vrhovima heksagona, dva atoma u sjecištu osnovica heksagona i tri atoma simetrično raspoređena unutar heksagona (slika I.10.). Atomi na vrhovima heksagona osnovnoj rešetki pripadaju jednom šestinom, atomi u osnovicama jednom polovinom, a atomi unutar heksagona cijeli pripadaju osnovnoj rešetki. Tako jednoj heksagonskoj rešetki pripada ukupno šest atoma ( $12/6 + 2/2 + 3 = 6$ ).



Slika I.10. Heksagonska kompaktna rešetka



### I.5.5. Tetragonska volumno centrirana rešetka

Tetragonska volumno centrirana rešetka brojem atoma i njihovim rasporedom slična je volumno centriranoj kubnoj rešetki. U tetragonskoj rešetki visina je različita od duljine osnovice (slika I.11.)

Slika I.11. Tetragonska volumno centrirana rešetka