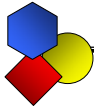


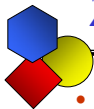
MATERIALI IN TEHNOLOGIJE



DR. ANTON HAMLER

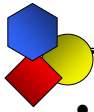
21:45

2



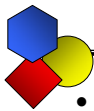
Zakaj morajo tehniki poznati materiale?

- Ker so najodločilnejši faktor v razvoju človeštva in tehnike:
 - kamena, bakrena, železna doba, ...
 - mnoge naprave delujejo na fizikalnih pojavih, ki so povezani z lastnostmi materialov
 - omogočili so realizacijo nedosegljivih ciljev:
 - poleti v vesolje,
 - izkoriščanje jedrske energije,
 - izdelava računalnika, ...
- Ker je:
 - za vsako fizično izdelavo naprave, stroja, aparata, ... potreben material,
 - zmogljivost naprav odvisna od lastnosti materialov,
 - vzdržljivost naprav odvisna od obstojnosti materialov,
 - cena naprav odvisna od cene materialov obdelovalnih tehnologij,
 - ...



Posledice nepoznavanja materialov

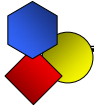
- Korozije pločevine Boeing 737 (1988).



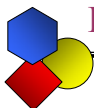
Zakaj morajo elektrotehniki poznati materiale?

- Ohmska upornost: $R = \frac{\rho \cdot l}{s}$
- Kapacitivnost: $C = \frac{\epsilon \cdot s}{l}$ $D = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot E$
- Induktivnost: $L \cong \frac{\mu \cdot N \cdot s}{l}$ $B = \mu_0 \mu_r \cdot H$
- Različni pojavi:
 - magnetizem, magnetostrikcija, magnetoupornost,
 - elektrostrikcija, piezo efekt,
 - Hallov efekt, Kerrov efekt, magnetokalorični efekt,
 - Piroelektrični efekt,
 - ...

UVOD

5.
219

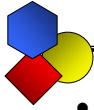
- V okviru predmeta si bomo z vidika elektrotehnike ogledali :
 - lastnosti,
 - uporabo (področja uporabe),
 - proizvodnjo (postopki in tehnologije) in
 - preizkušanje materialov (metode in njihovi predpisi).
 - . . .
- Spoznati želimo **uporabnost** materialov na področju elektrotehnike.



Razdelitev (razvrstitev) elektrotehničnih materialov

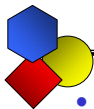
- Elektrotehnični materiali imajo široko paleto lastnosti → različno razvrščamo.
- Najbolj groba, vendar v praksi mnogokrat uporabljena razvrstitev, je:
 - Razdelitev po funkciji materiala,
 - **Razdelitev po uporabnosti,**
 - Razdelitev po vrsti materiala,
 - Razdelitev po agregatnih stanjih,

Razdelitev po uporabnosti



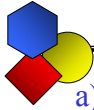
- Enostavnejša in običajnejša je razdelitev po lastnostih, ki so odločilna za uporabo v elektrotehniki.
 - a) prevodni materiali ali prevodniki,
 - b) polprevodni materiali ali polprevodniki,
 - c) magnetni materiali ali magnetiki,
 - d) neprevodni materiali ali izolanti,
 - e) specialni materiali (piezo-materiali, elektroliti, superprevodniki, ...).

Lastnosti materialov v elektrotehniki



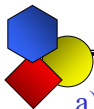
- Lastnosti materialov in njihove tehnične vrednosti, določajo njihovo uporabnost.
- Katera od lastnosti materiala je pomembna, je odvisno od področja uporabe.
- Lastnosti materialov lahko razdelimo na naslednje skupine:
 - Splošne fizikalne lastnosti,
 - Mehanske lastnosti,
 - Tehnološke lastnosti,
 - Električne lastnosti,
 - Magnetne lastnosti,
 - Toplotne lastnosti,
 - Kemične in fizikalno-kemične lastnosti

Splošne fizikalne lastnosti



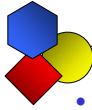
- a) **Gostota** je masa na enoto volumna. $\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \right)$
- b) **Specifična teža** je razmerje teže in volumna. $\gamma = \frac{G}{V}$
- c) **Tališče, področje taljenja, točka mehčanja, kapljišče** (°C, K). Meja med trdnim in tekočim stanjem (ostra - tališče ali neizrazita - pri amorfih materialih - področje taljenja).
- d) **Vrelišče** je temperatura (°C, K), ki predstavlja mejo med tekočim in plinastim stanjem.
- e) **Viskoznost** η (židkost tekočin) (Pa·s). Določa se s silo, ki je potrebna za strižne premike dveh površin.
- f) **Vpojnost vode**. Material določenega volumna potopimo v vodo določene temperature za določen čas. Razlika v teži pred namakanjem in po njem se imenuje vpojnost vode.

Mehanske lastnosti



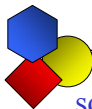
- a) **Trdnost** na vlek, tlak, zvijanje (torzijo), upogibanje itd. Določa silo na enoto preseka (mm², m²) pred zlomom (Pa, N/m²).
- b) **Trdota** je upor trdnega telesa proti prodiranju drugega trdnega telesa. Glede na obliko vtiskovanega telesa in načina meritve ločimo trdoto po Brinellu, Vickersu, Rokwellu, ...
- c) **Modul elastičnosti** E je mehanska napetost (1N/m² = Pa), ki bi teoretično raztegnila telo v Hookovem območju za 100 % osnovne dolžine.
- č) **Trgalna meja** je dolžina v km, pri kateri bi se nit, žica, vrvica, trak ipd. pretrgala zaradi nategovanja z lastno težo.
- d) **Žilavost** je lastnost, ki omogoča večje število deformacij materiala, ne da bi se ta prelomil. (število upogibov pločevine ali število zavojev vodnika do preloma).

Tehnološke lastnosti



- Karakterizirajo sposobnosti materiala za obdelavo.
- Najvažnejše so:
 - sposobnost deformiranja (preoblikovanja) v hladnem in toplen stanju (valjanje, kovanje, zvijanje, izvlačenje, previjanje,...),
 - sposobnost litja,
 - sposobnost oblikovanja z odrezovanjem,
 - sposobnost varjenja,
 - sposobnost spajkanja (lotanja),
 -
- Ocene so atributivne: dobro, slabo, sprejemljivo, nesprejemljivo itd.

Električne lastnosti



so najvažnejše lastnosti za prevodnike in izolante:

- **Specifična električna prevodnost** λ , γ ($\text{Sm}/\text{mm}^2 = 10^6$ S/m). Podajamo jo za temperaturo $T = 20$ °C.
- **Specifična električna upornost** ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, Ωm) je recipročna vrednost λ . Določamo jo pri $T = 20$ °C.

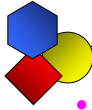
Za druge temperature določimo ρ po enačbi:

$$\rho_T = \rho_0 \cdot [1 + \alpha(T - T_0)]$$

ρ_0 - ρ pri T_0 (20 °C),
 α - temperaturni koeficient upornosti pri T_0 (1/K),
 T - temperatura za katero računamo ρ (°C).

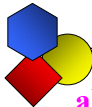
- **Temperaturni koeficient upornosti** α (1/K). Določa spremembo ρ , če se T spremeni za 1K.
- **Dielektričnost** ϵ_r , $\epsilon_r = D/(\epsilon_0 E)$ $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ (As/Vm). Okarakterizira obnašanje materiala v električnem polju.
- in druge.

Magnetne lastnosti



- Okarakterizirajo obnašanje materiala v magnetnem polju.
- Pomembne magnetne lastnosti so:
 - permeabilnost μ , $\mu_r = B/(\mu_0 H)$, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$
 - magnetilna krivulja,
 - histereza (remanentan gostota B_r , koercitivna poljska jakost H_c , nasičenje, ...),
 - specifične magnetne izgube (W/kg),
 - in druge.

Toplotne lastnosti

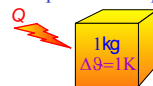


- a) **Linearni koeficient raztezanja** α , (1/K): podaja relativno spremembo dolžine pri spremembi temperature za 1 K.

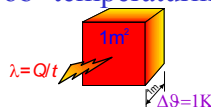
$$\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad l_T = l_0 [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

l_0 – dolžina pri T_0 (20 °C),
 α – koeficient raztezanja pri T_0 (1/K), $\alpha = f(T)$
 T – temperatura za katero računamo l (°C).

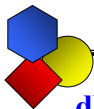
- b) **Specifična toplota** c , (J/kg·K): je potrebna dovedena toplota masi 1 kg, da se segreje za 1 K. (pri konstantnem volumnu c_v ali pri konstantnem pritisku c_p , $c_v < c_p$)



- c) **Specifična toplotna prevodnost** λ , k , (W/mK): je količina toplote, ki preide v 1 s preko ploskve 1 m² skozi 1 m debelo planpalelno plast snovi ob temperaturni razliki mejnih ploskev 1 K.



Toplotne lastnosti



d) Toplotna prestopnost α , h , K , (W/m^2K): je množina toplote, ki pride skozi $1 m^2$ dotikalne površine dveh snovi pri temperaturni razliki $1 K$ v $1 s$.

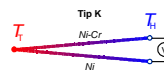
$$\alpha = Q/t$$

e) Temperaturni koeficient upornosti α ($1/K$): podaja relativno spremembo specifične električne upornosti ρ , če se temperatura spremeni za $1 K$.

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta\rho}{\Delta T} = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

f) Koeficient termonapetosti (Seebeck) a (V/K): je termonapetost na enoto temperaturne razlike $1 K$.

$$U_T = a \cdot \Delta T$$



Kemične in fizikalno-kemične lastnosti



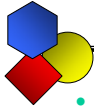
V to skupino spadajo naslednje lastnosti:

- topnost,
- sposobnost spajanja z drugimi materiali,
- obstojnost materiala pri atmosferskih in drugih vplivih,
- sprememba strukture (temperatura, čas, kemijski vplivi, ...),
- normalni potencial (elektrokemični) (V). Določamo ga glede na vodikovo elektrodo,
- in druge.

Elementi	Standardni potencial (V)
Li	-3,05
K	-2,92
Ca	-2,76
Na	-2,71
Mg	-2,40
Al	-1,69
Mn	-1,10
Zn	-0,76
Cr	-0,51
Fe	-0,44
Cd	-0,40
Co	-0,29
Ni	-0,25
Sa	-0,16
Pb	-0,13
H ₂	0,00
Cu	+0,35
Ag	+0,81
Hg	+0,86
Au	+1,31
Pt	+1,60
F	+2,85

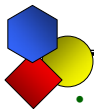
- povečana žilavost (red arrow pointing down)
 - povečana tendenca oksidacije (šifirana na križ) / - povečana tendenca tvorbe ionov (blue arrow pointing up)
 - izločanje iz elektrolitov (grey arrow pointing down)

Preizkušanje in normiranje materialov



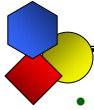
- je ugotavljanje lastnosti materialov s pomočjo preizkusov. Na rezultate teh pa vplivajo različni dejavniki.
- Da poenotimo preizkuse se poslužujemo predpisov, ki določajo naslednje vrste preskusov:
 - Preskus po normah – standardih,
 - Posebni preskusi ,
 - Preskus materiala v gotovem izdelku

Preskus po normah - standardih



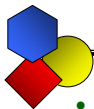
- Natančno določajo izvedbo preskusa. Dajejo splošno sliko o materialu zato so koristni za ocenjevanje kvalitete in primerjavo materialov.
- Pri nas so najpogosteje uporabljeni naslednji standardi:
 - nacionalni**
 - SIST (Slovenski inštitut za standardizacijo),
 - DIN (Deutsche Industrie Normen),
 - VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker),
 - ASTM (American Society for Testing Materials),
 - BS (British Standards),
 - GOST (Gosudarstvenie standardi),
 - UL (Underwriters Laboratories) idr.
 - mednarodni:**
 - IEC (International Electrotechnical Commission),
 - ISO (International Standard Association),
 - CENELEC (Comité Européen de Normalization Electrotechnique)
 - EN (European Norms)
 - idr.

Posebni preskusi



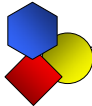
- Uporabljamo v primeru, ko preskusi po standardih ne dajo zahtevanega odgovora.
- Izvajamo jih v okoliščinah, katerim je izpostavljen material med uporabo.
- Opravljamo jih pod poostrenimi kriteriji.
- Te preskuse si razvijejo posamezna podjetja na podlagi lastnih izkušenj.

Preskus materiala v gotovem izdelku



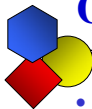
- Daje najboljšo sliko o materialu v konkretnem primeru uporabe.
- Omogoča prenašanje izkustev tudi na druge sorodne izdelke,
- Je najdražji in najdaljši.

KOVINSKI MATERIALI



21:45

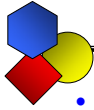
22



Osnovni pojmi iz poznavanja kovin in zlitin

2.1.
8

- Kovine so materiali, ki jih odlikuje vrsta karakterističnih lastnosti:
 - neprozornost,
 - značilni kovinski sijaj,
 - dobra električna in toplotna prevodnost ter
 - tehnološke sposobnosti (litje, termomehanska obdelava, spajanje, kovanje, ...).
- *Kovine so lahko:*
 - čiste (elementi) ali
 - zlitine (legure).
- Čiste kovine lahko:
 - v kislinah zamenjajo vodik in tvorijo soli,
 - sproščajo elektrone in se pretvarjajo v pozitivne ione (katione) ter se po tem razlikujejo od nekovin ali metaloidov.



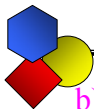
Osnovni pojmi iz poznavanja kovin in zlitin

2.1.
8

- **Pridobivanje kovin**
 - iz rud (spojine) - (metalurgija)
 - so samorodne (baker in plemenite kovine)

- **Količina kovin:** okrog 25 % zunanje zemeljske skorje od tega preko polovica aluminija in železa (tabela 2.1).

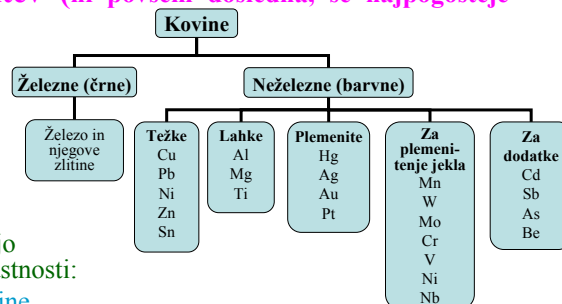
- **Razdelitev kovin:**
 - z uporabo **periodičnega sistema**,
 - **praktična razdelitev**.



Razdelitev kovin

2.1.
10

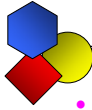
- b) **Praktična razdelitev (ni povsem dosledna, se najpogosteje uporablja):**



Neželezne kovine imajo nekatere posebne lastnosti:

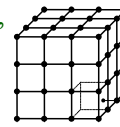
- korozijsko so obstojne,
- dobro električno in toplotno prevodnost,
- veliko ali malo specifično težo,
- dobre drsne lastnosti,
- visoka cena (običajno) zaradi kompliciranih in dragih metalurških postopkov ali zaradi malih količin v naravi.

Kristalna struktura

2.1.1.
11

• Zgradba kristala:

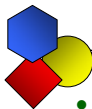
- V kristalu so atomi, ioni ali molekule geometrijsko urejeni po povsem določenih zakonitostih.
- Pri razbijanju kristalov se pojavljajo drobci v obliki mnogoploskovnikov (poliedrov).
- V amorfni snovi ni niti najmanjše sledi urejenosti (npr. steklo, vosek, saje).
- Če povežemo središča delcev (atomov, ionov in njihovih skupin) z namišljenimi črtami, dobimo kristalno mrežo.



kristalna mreža
osnovna (elementarna) celica

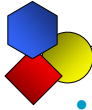
- Najmanjši prostorski enoti te mreže rečemo elementarna celica.
- Elementarna celica okarakterizira kristalno mrežo, oziroma kristalni razred.

Kristalna struktura

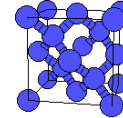
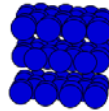
2.1.1.
11

- Glede na geometrijske somernosti kristalov, delimo kristale v 32 simetrijskih razredov.
- Z upoštevanjem somernostnih osi, dobimo 7 kristalnih sistemov.
- Ti sistemi so:
 1. kubični ali regularen,
 2. heksagonski,
 3. tetragonski,
 4. trigonski ali romboederski,
 5. rombski,
 6. monoklinski in
 7. triklinski.

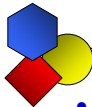
Kristalna struktura

2.1.1.
12

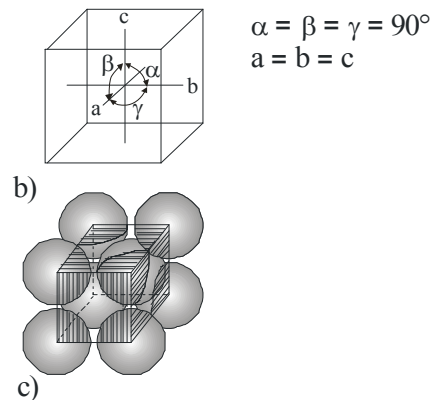
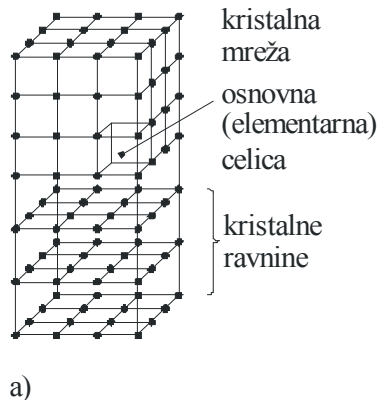
- Nekaterne kovine (elementi) lahko kristalizirajo v različnih vrstah kristalnih mrež → so *polimorfne*.
- Kristalne oblike imenujemo **modifikacije** → označujemo jih z grškimi črkami α , β , γ ,
- Prehajanje ene kristalne strukture v drugo imenujemo **premena ali prekrystalizacija**.
- Najbolj pogosti razlog za premeno je temperatura.
- Lastnosti različnih kristalov iste snovi so lahko zelo različne. Primer za ogljik:
 - diamant: kubična mreža (s tetraedersko razporeditvijo ogljikovih atomov)
 - grafit: heksagonalna.



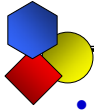
Glavni tipi elementarnih celic pri kovinah

2.1.1.
12

- Kubična (večina kovin)
 - Enostavna - Kubična

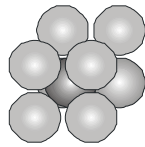


Glavni tipi elementarnih celic pri kovinah

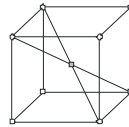
2.1.1.
13

• Kubična

b) Prostorsko centrirana



a)



b)

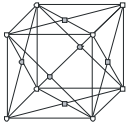
Fe - α , Cr - α

Mo, W, V, Ta

c) Ploskovno centrirana



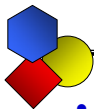
a)



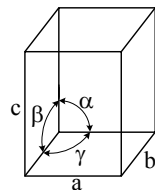
b)

Fe - γ , Cu, Al, Ag,Ni - α , Pb, In, Pa, Pt,Au, Co - β , Sn - α

Glavni tipi elementarnih celic pri kovinah

2.1.1.
13

• Tetragonska

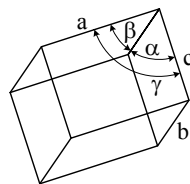


$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$$a = b \neq c$$

Sn - β

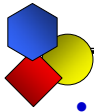
• Romboedrska



$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ < 120^\circ$$

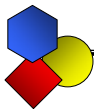
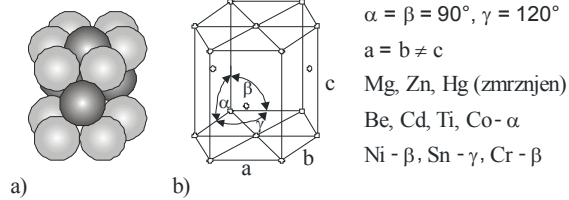
$$a = b = c$$

Sb, Bi, As

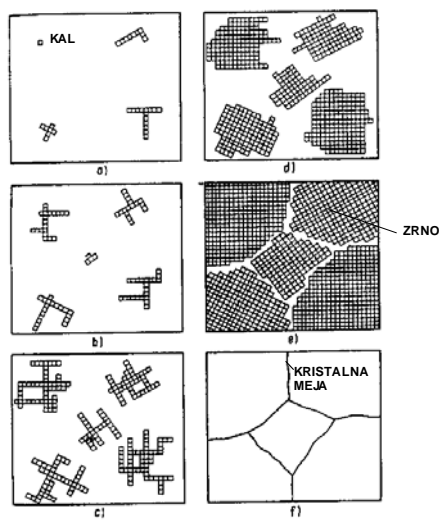


Glavni tipi elementarnih celic pri kovinah

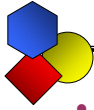
• Heksagonska

2.1.1.
14

Rast kristalov

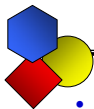
2.1.1.
15

Rast kristalov

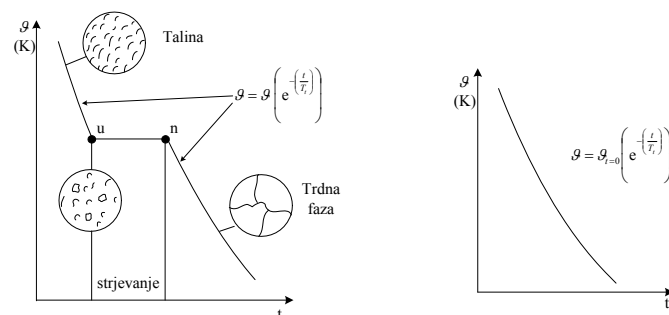
2.1.1.
15

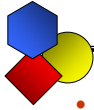
- Kristalna zrna so med seboj ločena s kristalnimi mejami.
- Velikost kristalov (zrn) je odvisna od števila kali:
 - **mono(eno) kristal** - polprevodniki (Ge, Si),
 - **grobozrnava** (počasno ohlajanje),
 - **fino zrnava** (hitro ohlajanje).
- Enotna orientacija kristalov - **tekstura** (usmerjene lastnosti - **anizotropija**).
- Spreminjanje kristalne strukture - **rekristalizacija** (posebni postopki).

Ohlajevalna krivulja čiste kovine

2.1.1.
16

- Ohlajevalna krivulja čiste kovine **amorfne snovi**



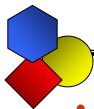
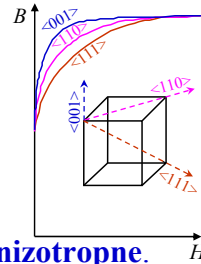


Nekatere strukturne lastnosti materialov

Anizotropija, hladno preoblikovanje (deformiranje), popuščanje


2.1.2
21

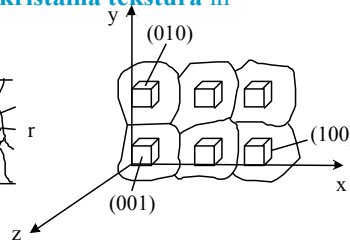
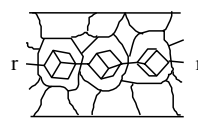
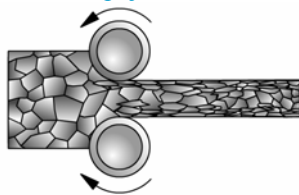
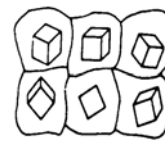
- V kristalu so fizikalne in kemične lastnosti v različnih smereh različne.
- Odvisnost lastnosti od smeri imenujemo **anizotropija**.
- Magnetenje monokristala:
 - magnetenje je najlažje v smeri robov kristala,
 - težje v smeri ploskovnih diagonal in
 - najtežje v smeri prostorske diagonale
- Lastnosti **kristala** so odvisne od smeri so **anizotropne**.
- Lastnosti **amorfnih** snovi so neodvisne od smeri so **izotropne**.



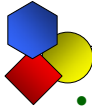
Anizotropija, hladno preoblikovanje popuščanje

2.1.2
22

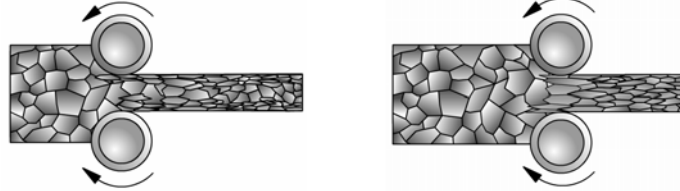
- Polikristalna zgradba:
 - kristali rastejo v različnih smereh in z različnimi hitrostmi,
 - smeri kristalov so različne in s tem njihove usmerjene lastnosti,
 - če se anizotropne lastnosti približno izravnajo so **kvazi izotropne**,
 - dogajanje v kristalu pri obremenitvi. 
- Z usmerjeno plastično deformacijo (hladno preoblikovanje: valjanje pločevine, vlečenje žice, kovanje, ...) dosežemo:
 - usmerjeno poravnavanje kristalov → **kristalna tekstura** in
 - pojavi se **anizotropija**.



Anizotropija, hladno preoblikovanje popušcanje

2.1.2
22

- *Primer hladnega in vročega valjanja:*

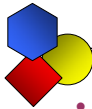


- *Hladno preoblikovanje, ki plastično deformira kovino, povzroča spremembo lastnosti in anizotropijo.*
- Stopnja plastične deformacije:

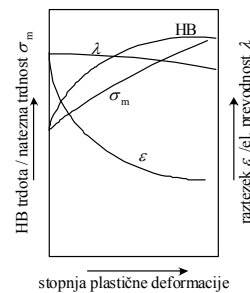
$$V_{\%} = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100$$

A_0 začetni presek (pred preoblikovanjem),
 A presek po oblikovanju.

Anizotropija, hladno preoblikovanje popušcanje

2.1.2
22

- Plastična deformacija kovine v hladnem spremeni njene lastnosti:
 - jo utrdi (kovina je trša in trdnjša) (trdi baker, trdi aluminij),
 - poveča njeno električno upornost,
 - poveča kemično reaktivnost,
 - poboljša magnetenje v smeri deformacije (valjanja) (transformatorska pločevina, ...),
 - poveča energijo kristalne mreže (absorbira določeno energijo \Rightarrow metastabilno stanje),
 - Pridobljene lastnosti pri hladnem preoblikovanju lahko z žarjenjem zopet odpravimo (popušcanje).

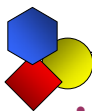




Anizotropija, hladno preoblikovanje popuščanje


2.1.2
23

- Med žarjenjem nastajata v materialu dva procesa:
 - **poprava kristala** ali
 - **rekristalizacija**.
- **Dobimo lahko tudi drugo vrsto teksture.**
- **Poprava kristala:**
 - V malo hladno preoblikovanem materialu imamo premaknjene in malo deformirane kristalne mreže,
 - Notranje napetosti v mreži so male,
 - S segrevanjem postanejo ioni bolj gibljivi → premaknjenost in deformacije se odpravijo,
 - Zgradba snovi in oblika kristalov se ne menja,
 - Menjajo se v glavnem fizikalne lastnosti (električna prevodnost),
 - Mehanske lastnosti se ne spremenijo.

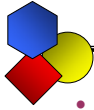


Anizotropija, hladno preoblikovanje popuščanje

2.1.2
23

- **Rekristalizacija:**
 - Pri močno hladno preoblikovanih materialih se kristalna zrna zelo deformirajo → velike notranje elastične napetosti,
 - S segrevanjem se sprostijo te napetosti → atomi v njih se postavijo v bolj naravne položaje,
 - Pri dovolj visoki temperaturi se to sproščanje izrazi tako, da velika kristalna zrna razpadejo v več manjših (večja deformacija → manjša zrna), 
 - Dobimo material brez notranjih napetosti,
 - S tem so odpravljene posledice hladnega preoblikovanja, material postane ponovno mehak (mehki baker, mehki aluminij),
 - Pri nadaljevanju segrevanja prevzamejo mala kristalna zrna vlogo kristalizacijskih kali, ki rastejo v večja zrna,
 - Proces nastanka novih kristalov pri isti vrsti mreže imenujemo **rekristalizacija**.

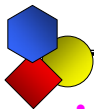
Anizotropija, hladno preoblikovanje popuščanje

2.1.2
24

- Rekrystalizacija je pomemben proces za doseganje želenih lastnosti materialov v elektrotehnikih.
 - S hladnim preoblikovanjem dosežemo določeno orientacijo kristalov,
 - Z rekrystalizacijo pa dosežemo določeno velikost kristalnih zrn.
 - Primer magnetne pločevine: z orientacijo vplivamo na magnetne karakteristike, z velikostjo zrn pa vplivamo na magnetne izgube.
- Da se lahko rekrystalizacija začne, moramo materialu dovesti zadostno energijo (toploto).
- Minimalne temperature rekrystalizacije nekaterih kovin.

wolfram	1100 °C	železo, platina	450 °C
molibden	1000 °C	baker, srebro, zlato	150 - 200 °C
titan	800 °C	aluminij, magnezij	150 - 200 °C
nikelj	660 °C	cink, kadmij, svinec, kositer	pod 20 °C

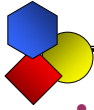
Anizotropija, hladno preoblikovanje popuščanje

2.1.2
24

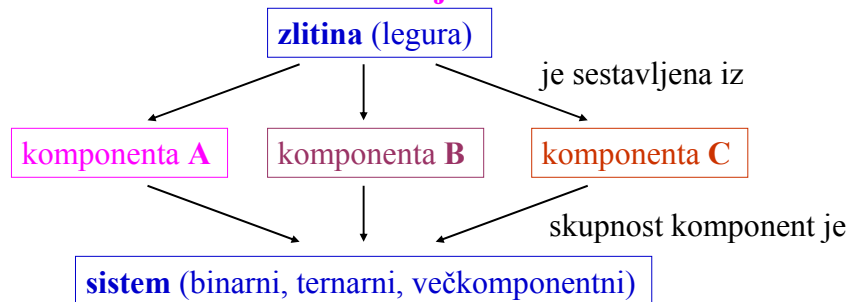
- Ugotovitev: *Lastnosti kovine je mogoče s hladnim preoblikovanjem spremeniti le takrat, ko ima material med hladnim preoblikovanjem nižjo temperaturo, kot je temperatura rekrystalizacije.*
- S temperaturo rekrystalizacije je neposredno povezana toplotna obstojnost materiala.
- Z obnovo kristalov ali rekrystalizacijo dobimo:
 - material, močno podoben prvotnemu,
 - odpravljene so notranje napetosti → dobimo mehki (popuščeni ali žarjeni) baker, aluminij, ...)

Sestavljeni materiali - zlitine (legure)

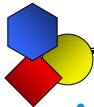
Osnovni pojmi

2.1.3
24

- Čiste kovine:
 - zelo težko pridobivamo in
 - v tehniki so redko uporabne.
- **Zlitine so zmesi najmanj dveh kovin ali kovin in nekovin v trdem stanju.**



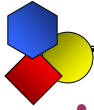
Osnovni pojmi

2.1.3
24

- *Primer:* svinec + kositer → binarni sistem (lot)
- **Koncentracija:**
 - je razmerje mešanja komponent A/B/.../N.
 - Podajamo jo v masnih odstotkih. (60/40 → v 100 g zlitine je 60 g komponente A in 40 g komponente B).
- **Lastnosti zlitin:**
 - so drugačne od lastnosti komponent (čistih kovin): trdota, raztezek, trdnost, električna in toplotna prevodnost, ...)
 - so odvisne od vrste in količine komponent (kovinski materiali s povsem določenimi lastnostmi: nerjavna ali nemagnetna jekla, ...).

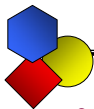
Zlitine dveh komponent

Topnost komponent

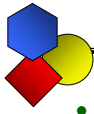
2.1.3
25

- Pogoji za tvorbo zlitine je homogena talina, ki je raztopina vseh komponent (talina = raztaljena zlitina).
- Pri strjevanju homogene taline ločimo štiri oblike topnosti komponent v trdnem stanju:
 - popolna topnost (vodo in alkohol lahko mešamo v poljubnem razmerju),
 - popolna netopnost (živo srebro se v vodi ne topi),
 - delna topnost (sladkor se topi v vodi do določene koncentracije),
 - kemične spojine, imenovane intermetalne (medkovinske) spojine, **metalidi**

Popolna topnost komponent v trdnem stanju

2.1.3
26

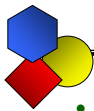
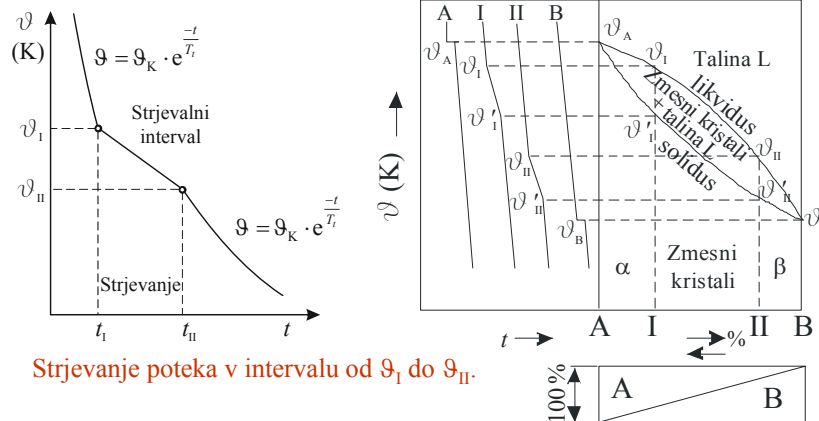
- Skupna kristalna mreža (v osnovni elementarni celici so atomi vseh komponent).
- Komponente so v trdnem stanju popolnoma stopljene med seboj (se jih ne da razdvojiti).
- Dobimo **zmesne kristale**:
 - α je trdna raztopina komponente B v A,
 - β je trdna raztopina komponente A v B.
- Iz ohlajevanja za posamezne koncentracije dobimo diagram ohlajevanja sistema → **binarni fazni diagram**.



Popolna topnost komponent v trdnem stanju

2.1.3
27

- Ohlajevalna krivulja in binarni fazni diagram.

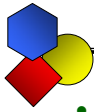


Popolna topnost komponent v trdnem stanju

2.1.3
27

- **Homogena zlitina:**
 - homogeni zmesni kristali z enakimi koncentracijami,
 - počasno ohlajanje,
 - atomi obeh komponent se pravilno razmestijo po kristalni mreži.
- **Nehomogena zlitina:**
 - nehomogeni zmesni kristali,
 - hitro ohlajanje,
 - zmesni kristali z različnimi stopnjami koncentracije,
 - nezaželena - pospešujejo korozijo (medkristalna korozija),
 - odpravimo z homogenizacijo (žarenje, staranje).
- **Primeri: zlitine s popolno topnostjo v trdnem stanju:**
 - (Cu - Ni) → uporabni materiali,
 - (Pt - Ni, Au - Pt in Ag - Pt) → kontaktni materiali

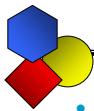
avien



Popolna netopnost komponent v trdnem stanju

2.1.3
27

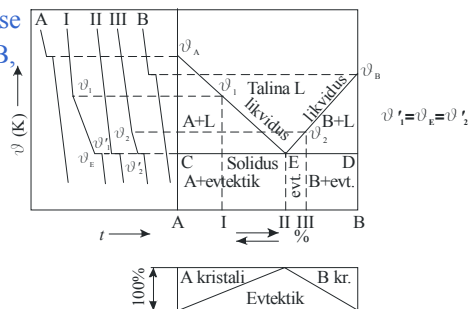
- Vsaka komponenta gradi svoje kristale (se jih da razdvojiti),
- V vsaki elementarni celici je predstavnik le ene komponente,
- Komponente so v trdnem stanju popolnoma netopne,
- Dobimo mehansko zmes kristalov komponent A in B.

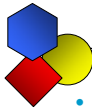


Popolna netopnost komponent v trdnem stanju

2.1.3
28

- Ohlajevalna krivulja (temperaturni prehod - zmesni kristali, stojna temperatura - čista kovina),
 - pričetek strjevanja za I pri ϑ_1 , izločajo se kristali komponente A,
 - talina postaja bogatejša s komponento B,
 - pri ϑ_1' je dosežena koncentracija pri kateri se talina strdi,
- pri III je analogno I, s tem da se izločajo kristali komponente B,
- $\vartheta_1' = \vartheta_3'$ → solidus linija je premica (paralelna abscisi),
- II se strjuje direktno, brez vmesne faze, na temperaturi ϑ_E .

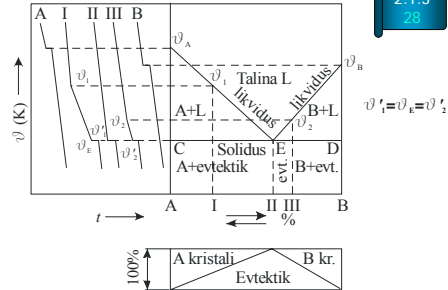




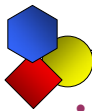
Popolna netopnost komponent v trdnem stanju

• Evtetična točka:

- nastopi pri določeni koncentraciji (likvidus in solidus se združita),
- sistem se obnaša kot čista kovina,
- pri evtetični temperaturi ϑ_E je prehod direkten.



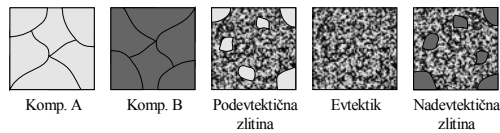
- Evtetik je drobnozrnata zmes kristalov sestavin zlitine. Ima povsem določeno sestavo in konstantno strjevalno oz. talilno (evtetično) temperaturo, ki je najnižja v sistemu.



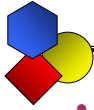
Popolna netopnost komponent v trdnem stanju

• Evtetične zlitine:

- imajo nizka tališča (nižje od komponent),
- dobre mehanske lastnosti,
- v praksi izredno pomembne,
- lahko delno topne v trdnem stanju (velja likvidus),
- podevtetične zlitine,
- nadevtetične zlitine.



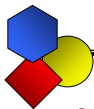
- Primeri netopnih sistemov v trdnem stanju:
Al - Sn, Bi - Sn, Bi - Cd, Ag - Ni



Delna topnost v trdnem stanju (večina zlitin)

2.1.3
29

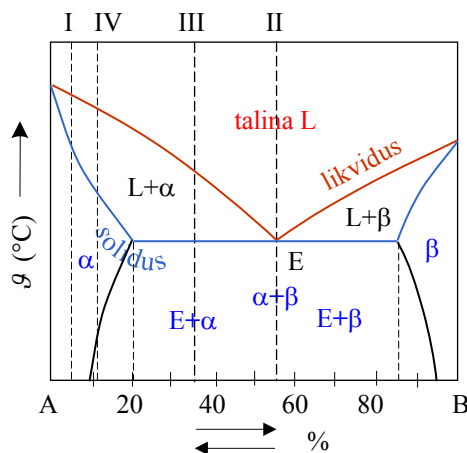
- Talina se delno topi (komponente so delno - omejeno topne, do določene koncentracije).
- V trdnem stanju dobimo **zmes zmesnih kristalov** raztopine α in β pomešane med seboj.
- Stopnja nasičenja mešanice je odvisna od temperature.
- Pri ohlajevanju nasičene raztopine se odvečna komponenta izloči.



Delna topnost v trdnem stanju

2.1.3
29

- Fazni diagram pri delni topnosti:



α → trdna raztopina B v A
 β → trdna raztopina A v B
 eutektik $E = \alpha + \beta$

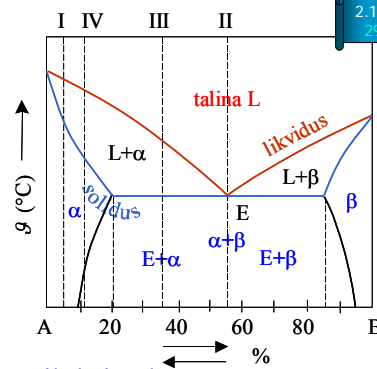
Pri α in β so razmere podobne popolni topnosti.

Delna topnost v trdnem stanju



• Koncentracija IV:

- Koncentracija nasičenja se s temperaturo v trdnem stanju spreminja,
- pri nižani temperaturi komponenta A ni v stanju sprejeti enake količine komponente B,
- izloča se komponenta B iz zmesnih kristalov α , v obliki zmesnega kristala β ,
- izločanje je v trdnem stanju,
- pri primerni velikosti izločenih delcev se zlitina **utrdi** (izločevalna utrditev): poveča se trdnost in trdota.



Delna topnost v trdnem stanju



• Primeri sistemov delne topnosti:

- (Pb - Sn) (evtektik) → mehki loti
- (Al - Si) (približno evtektičen) - silumin (dobre livne lastnosti)
- (Ag - Cu) → za kontakte,
- (Pb - Sb) → za kable in akumulatorje.
- če je sestavljena zlitina iz več komponent, je lahko evtektična temperatura zelo nizka.
- **Woodova kovina** (50% Bi, 25% Sn, 25% Cd) ima talilno temperaturo 70 °C,
- In druge zlitine za talilne varovalke.

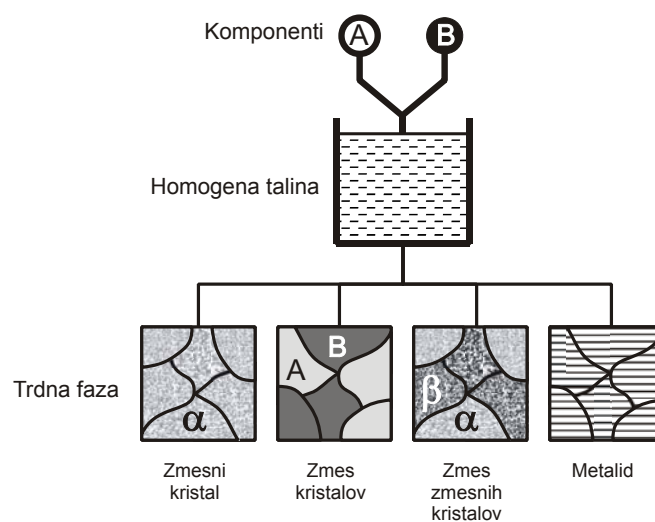
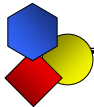
Metalidi (kemične spojine)



- Komponente tvorijo kemične spojine - intermetalne (med-kovinske) spojine,
- Komplicirane kristalne mreže (različne od komponent),
- So zelo trdi in krhki, se težko oblikujejo,
- Imajo malo kovinskih lastnosti,
- Največkrat so nezaželeni (karbidi, nitridi, oksidi itd).

2.1.3
26

Produkti homogene taline (pri zlitini)

2.1.3
26

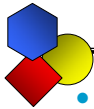
Posebne lastnosti binarnih sistemov



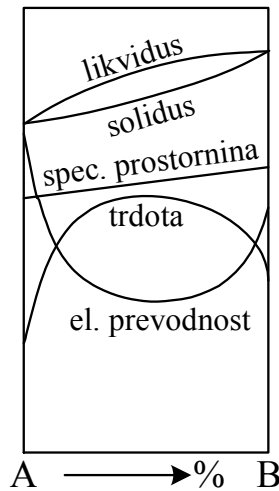
- Pri zlitinah so važne spremembe lastnosti napram komponentam,
- Lastnosti zlitin z zmesnimi kristali niso vedno kombinacija lastnosti komponent (trdota in električna prevodnost),
- Dobimo lahko:
 - trši material od komponent (brez hladnega oblikovanja),
 - povišano temperaturo rekristalizacije in temperaturno obstojnost, (uporovni materiali za grela),
 - večjo korozijsko obstojnost,
 - povečano električno upornost (uporovni materiali).

2.1.3
30

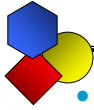
Posebne lastnosti binarnih sistemov



- Lastnosti zlitin z zmesnimi kristali (popolna topnost)

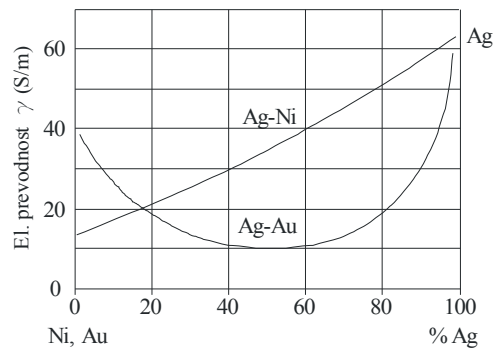
2.1.3
31

Posebne lastnosti binarnih sistemov

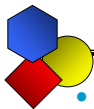


• Električna prevodnost zlitin:

- Ag-Au (popolna topnost, zmesni kristali, za kontakte),
- Ag-Ni (netopnost, zmes kristalov)

2.1.3
31

Posebne lastnosti binarnih sistemov



• Zlitine s čim manjšim temperaturnim koeficientom upornosti α :

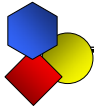
- manganin (zlitina Cu - Ni - Mn) ali
- (Au - Cr)

• Zlitine s čim večjim temperaturnim koeficientom upornosti α : Fe - Ni

• Zlitine s podobnim razteznostnim koeficientom steklu: Fe - Ni, Fe - Ni - Cr in Fe - Ni - Co

2.1.3
32

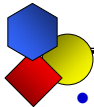
ŽELEZO IN ZLITINE ŽELEZA



21:45

64

Uvod

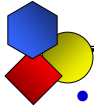


- Fe je tehnično in gospodarsko pomemben zaradi:

- pogostega nahajališča rude in lahke predelave v tehnični material,
- lahke obdelave in možnosti litja,
- mnogoterosti lastnosti (legiranje, toplotna obdelava),
- feromagnetizma.

2.2.1
32

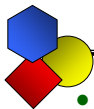
Delitev železa

2.2.1
33

- Delitev glede na količino ogljika, (uporabna v metalurgiji):
 - do 2 % C → **jeklo**,
 - nad 2 % C → **godelj**, (surovo železo).

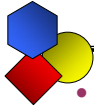
- Delitev glede na uporabo:
 - tehniško čisto železo (mehkomagnetni material),
 - železni materiali za oblikovanje,
 - železni materiali za litje.

Pridobivanje železa

2.2.1
34

- Pridobivanje železa (surovo):
 - iz rud:
 - Rude so oksidi železa (nekatero rudo do 70% Fe).
 - V naravi so pomešane z oksidi in sulfidi drugih elementov (Mn, Ti, P, V, Cu, Cr, S itd.) in
 - Jalovino (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO, BaO).
 - Ekonomično izkoriščanje z nad 35 % Fe.
 - staro železo (recikliranje),
 - v plavžih (klasični, električni) in po direktnih postopkih.

Čisto železo

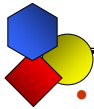


- Pridobivanje kemično čistega Fe je zelo drago,
 - Primeri čistosti v praksi:
 - armco 99,85 % Fe, (kemično čiščenje),
 - elektrolizno železo 99,965 % Fe,
 - tehnično čisto železo od 99,5 do 99,9 % Fe.

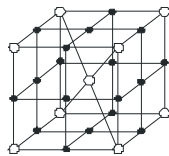
- Trdota kemijsko čistega Fe je okrog 45 - 55 HB (podobno kot Cu),

2.2.2
34

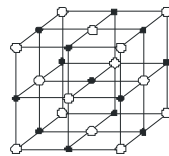
Modifikacije železa



- Kristalizira v več modifikacijah (odvisno od temperature).
 - kubične prostorsko centrirane (α , β , δ),
 - kubična ploskovno centrirana (γ).

Zmesni kristali
 α 

a)

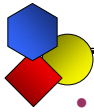


b)

Zmesni kristali
 γ

- ◇ železo
- ogljik

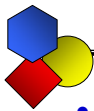
2.2.2
34



Temperaturna področja modifikacij železa

2.2.2
34

- Curiejeva točka 768 °C (α oblika, je magnetno),
- od 768 °C do 910 °C (β oblika, je nemagnetno),
- od 910 °C do 1390 °C (γ oblika, je nemagnetno),
- nad 1390 °C (δ modifikacija),
- tališče 1534 °C.

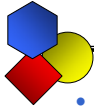


Toplotna obdelava jekla

2.2.4
38

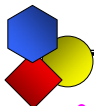
- Pri tem je material v trdnem stanju podvržen takšnim temperaturnim spremembam, da povzročajo spremembo njegovih lastnosti kot so:
 - trdnost,
 - trdoto,
 - žilavost in obdelovalnost,
 - enakomernost in izotropnost nekaterih lastnosti.

Toplotna obdelava jekla

2.2.4
38

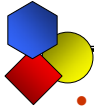
- Glede na željeno spremembo lastnosti jekel razlikujemo:
 - **žarjenje:**
 - enakomernosti v strukturi, pripraviti material za gnetenje v toplem (kovanje, stiskanje, valjanje itd.)
 - za odstranjevanje notranjih napetosti, žarjenje na mehko,
 - sprememba strukture od grobo zrnate na fino zrnato,
 - popravo kristalov, rekristalizacija in rast zrn itd.;
 - kaljenje in naknadno popuščanje:
 - normalno kaljenje (dobimo martenzit),
 - poboljšanje (trdnostne lastnosti),
 - površinsko kaljenje, cementiranje in nitriranje.
 - s kaljenjem povečujemo trdoto jekla;
 - oplemenitenje,
 - umetno staranje.

Vrste jekel

2.2.5
38

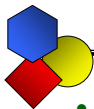
- V osnovi delimo jekla na:
 - nelegirana in
 - legirana.

Nelegirana jekla

2.2.5
39

- Vsebujejo le elemente, ki so ostali pri metalurški proizvodnji (pridobivanju). Delimo jih:
 - v zaželene in
 - nezaželene elemente.
- Zaželeni elementi:
 - **Ogljik**: V določenih koncentracijah ugodno vpliva na lastnosti in omogoča široko uporabnost.
 - **Mangan**: do 0,8 % poboljša žilavost, trdnost in oblikovalnost jekla.
 - **Silicij**: do 0,5 % ugodno vpliva na strjevalni proces, zvišuje trdnost, poboljša žilavost in omogoča boljšo termično obdelavo. Poveča električno upornost.

Nelegirana jekla

2.2.5
39

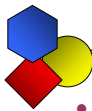
- Nezaželeni elementi
 - **žveplo**: poslabša mehanske lastnosti in oblikovalnost.
 - **fosfor**: poslabša mehanske lastnosti, povzroča grobo zrnatost in poslabša varivost.
 - Kvaliteto jekla določamo po količini S in P:
 - običajna jekla do 0,06 %,
 - kvalitetna jekla do 0,045 % in
 - plemenita jekla do 0,035 %.
 - **Kisik, dušik, vodik**: v glavnem slabo vplivajo na mehanske in tehnološke lastnosti.



Delitev nelegiranih jekel po namenu uporabe

2.2.5
39

- **Konstruksijska:**
 - 90 % vseh jekel,
 - vsebujejo do 0,6 % C,
 - uporaba: strojogradnja, jeklene konstrukcije, jekla za avtomate, vijake (pločevina, žica, cevi, okroglo jeklo, ploščato jeklo, jekleni profili).
 - zahteve: mehanske in tehnološke lastnosti (trdnost, žilavost, oblikovalnost, varivost in kvaliteta površine).
 - zahteva v elektrotehniki:
 - kvalitetna površina (galvanske preobleke, korozijska zaščita, barvanje, plastificiranje itd.) ali
 - možnost hladnega preoblikovanja (valjanje, vlečenje, upogibanje, pakiranje itd.). Dekapiranje - kemično ali mehansko odstranjevanje oksidnih plasti.
- **Orodna:**
 - ločitvena orodja (industrijski noži, škarje, obrezilna in odrezilna orodja),
 - orodja za odvzemanjem delcev (strugarski noži, frezarji, svedri) in
 - orodja za plastično oblikovanje (matrice za kovanje, stiskanje, vlečenje, valji za valjanje i. sl.).



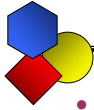
Legirana jekla

2.2.5
40

- Za doseganje boljših lastnosti jekel jih legiramo z različnimi elementi:

Želene lastnosti	Element za legiranje
Poboljšanje magnetnih lastnosti	Ni, Co, (Si), (Al)
Stabiliziranje nemagnetne avstenitne strukture	Ni, Co, Mn
Povečanje trdote	C, Ni, Mn, Cr, Si, W, Mo
Toplotna obstojnost	Ni, Co, V, W, Mo
Korozijska obstojnost	Cr, Al, Si, (Cu)
Povečanje krhkosti	O ₂ , H ₂ , N ₂ , P, S

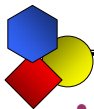
Legirana jekla



- Vrste legiranih jekel:
 - orodna jekla,
 - vzmetna jekla,
 - za kroglice z malo obrabe,
 - korozijsko in kislinsko odporna jekla,
 - ognje vzdržna jekla,
 - za električne upore in trakove,
 - feromagnetna jekla z vsemogočimi magnetnimi lastnostmi.

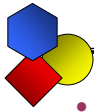
2.2.5.2
40

Legirana jekla pomembna za elektrotehniko



- Jekla s posebnimi magnetnimi lastnostmi:
 - Trdo magnetni materiali (trajni magneti) - legirani s Cr, Cr - Co, Al - Ni, Al - Ni - Co, Cr - V, Sm - Co, Nd - B ipd.
 - Mehko magnetni materiali (dobre magnetne lastnosti in male izgube), (Si, Mn, Ni) :
 - dinamo in transformatorska pločevina (prenos moči, signalov),
 - magnetna jeklena litina (električni stroji, za kovanje, za magnetne zaslone i. sl.),
 - Nemagnetni materiali:
 - stabilna avstenitna jekla (Mn, Ni, C in Mo)
 - visoko legirana jekla (Mn, Ni, Mn - Cr ali Cr - Ni jekla).

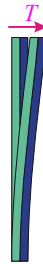
2.2.5.2
41



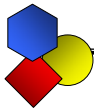
Legirana jekla pomembna za elektrotehniko

2.2.5.2
41

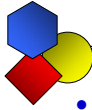
- Jekla s posebnimi lastnostmi raztezanja:
 - jekla z izredno malim razteznostnim koeficientom (Ni, (Mn)),
 - jekla z izredno velikim razteznostnim koeficientom (Ni, (Mn)),
 - jekla za termobimetale



BAKER

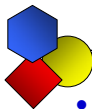


Baker

2.3.1
43

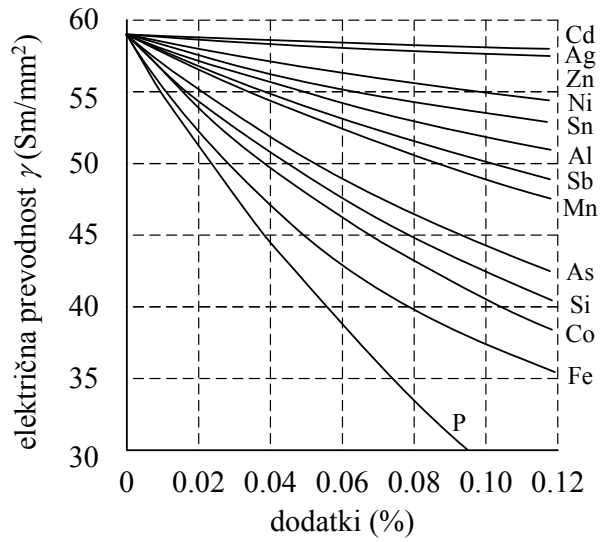
- Nekaterne lastnosti:
 - mala specifična upornost (manjšo ima samo Ag),
 - zadostna mehanska trdnost,
 - zadovoljiva korozijska obstojnost (površinska pasivizacija-stabilna plast),
 - dobre tehnološke lastnosti (preoblikovanje v hladnem, ulivanje),
 - možnost spajkanja in varjenja in
 - dobre legirne lastnosti.

Baker

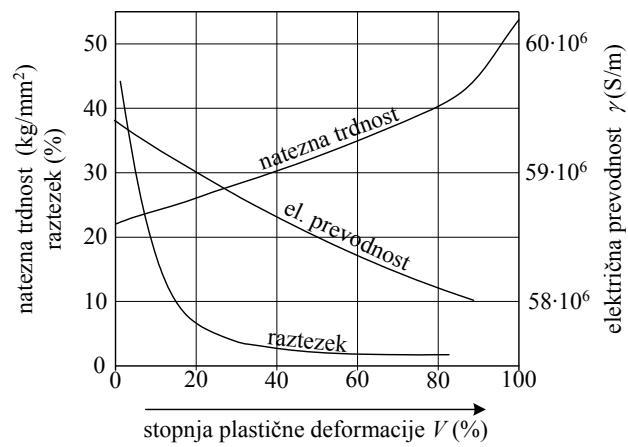
2.3.1
43

- Pridobivanje:
 - iz bakrovih rud in iz odpadnega bakra,
 - elektrolitski (katodni) baker (za električne vodnike),
 - nadaljnje čiščenje z rafiniranjem (oksidacija, desoksidacija).
- Lastnosti Cu, ki se uporablja v elektrotehniki:
 - 99,9 % čistost,
 - $\gamma = 58 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ ($\rho = 0,017241 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$) = 100 % prevodnost,
 - **trdi baker** - hladno preoblikovanje,
 - **mehki baker** - žarjenje 200-600 °C (v zaščitni atmosferi).

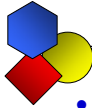
Vpliv primesi na prevodnost bakra

2.3.1
44

Vpliv hladnega preoblikovanja na lastnosti bakra

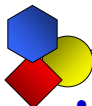
2.3.1
44

Bakrove zlitine

2.3.2
44

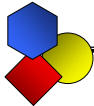
- Baker legiramo z namenom izboljšanja mehanskih in korozijskih lastnosti → prevodnost se poslabša.
- Bakrove zlitine delimo na:
 - brone (malo primesi):
 - Cu je nosilec visoke električne prevodnosti,
 - ostali elementi izboljšujejo mehanske lastnosti, posebej trdnost.
 - medenine (zlitine s cinkom):
 - razlikujemo glede na % Zn,
 - velika mehanska trdnost,
 - korozijska odpornost na atmosferi, ...
 - oblike: žice, pločevina, palice, profili, ...,
 - uporaba: vtikači, deli varovalk, deli raznih stikal in podobno.

Bakrove zlitine

2.3.1
45

- Delitev Cu zlitin glede na uporabo v elektrotehniki:
 - **materiali za prevodnike: visoka prevodnost, pobojšane trdnosti ali boljše toplotne obstojnosti, (Ag, Cd, Cr, Zr),**
 - **konstrukcijski materiali:** visoka korozijska obstojnost in pobojšane mehanske lastnosti, nizka električna prevodnost. (Be, As, Mn, Al, Si, Sn, Zn, Ni),
 - **uporovni materiali:** (čim višja specifično upornost, dovoljena temperatura, stabilnost upornosti od temperature in časa)
 - **kontaktni materiali:** (čim manjša kontaktna in električna upornost, čim manjše trošenje materiala in odpornost na mehansko obrabo.

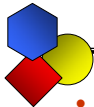
ALUMINIJ



21:45

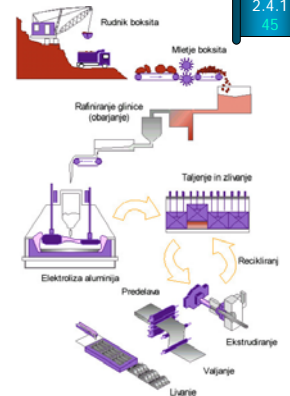
88

Aluminij



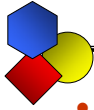
- Pridobivanje:

- iz rude (boksit) → glinico (Al_2O_3 - oksid),
- iz Al_2O_3 z redukcijo (elektrolizo) → metalni aluminij,



- za izdelavo 1kg Al iz glinice je potrebno od 13. do 18 kWh električne energije.

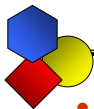
Aluminij

2.4.1
45

• Lastnosti:

- Velika el. prevodnost $\gamma = 34,5 \cdot 10^{+6} \text{ S/m}$
($\rho = 0,029 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m} \rightarrow \approx 1,6 \cdot \rho_{\text{Cu}}$),
- Mala specifična teža (3,3-krat lažji od Cu),
- Dobra kemična obstojnost (tanki sloj oksida ščiti notranjost - pasivizira),
- Dobre tehnološke lastnosti (valjanje, prešanje, vlečenje, litje, ...),
- Nekatere posebne lastnosti, (anodna oksidacija, odpornost na električni oblok, ...).

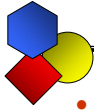
Aluminij

2.4.1
46

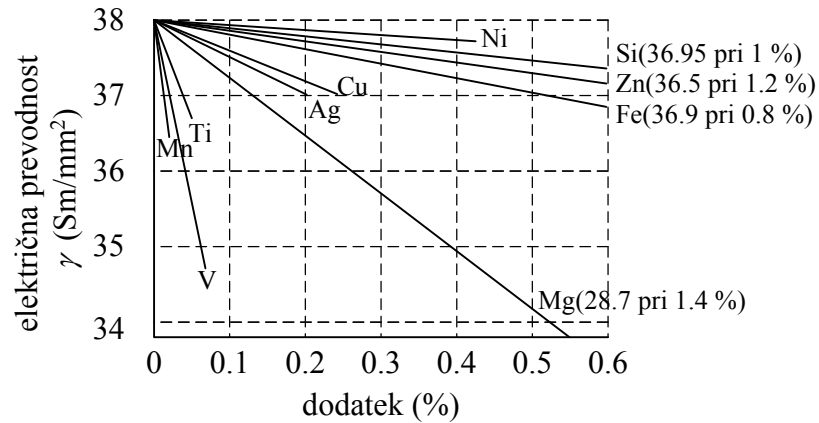
• Elektrotehniški aluminij:

- čistoča za prevodnike je 99,5 % \rightarrow E-Al,
- primesi (Ti + Cr + V + Mn manj kot 0,3 %),
- $\gamma = 36 \cdot 10^{+6} \text{ S/m}$ ($\rho = 0,02777 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$),
- čistoča za elektrode kondenzatorjev (zelo tanke folije) je 99,9 % (dobimo z rafiniranjem),
- kvalitete: trdi, poltrdi in mehki,
- slabo odporen proti alkalijam (natrijev in kalijev lug), proti kislinam in solem,
- na spoju Al in Cu (ob prisotnosti elektrolita), se prične korozijski proces, ki aluminij uničuje.

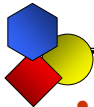
Aluminij

2.4.1
46

• Vpliv primesi na prevodnost aluminija:

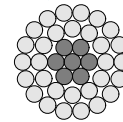
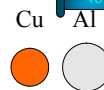


Aluminij

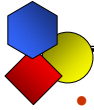
2.4.1
46

• Uporaba v elektrotehniki:

- za iste prevodne lastnosti kot pri Cu, je potreben 1,27-krat večji premer Al vodnika,
- pri strojih ga skoraj ne uporabljamo (kratkostična kletka),
- daljnovode (večkrat ojačani z jeklenim jedrom),
- kable,
- zbiralnice,
- razne vrste zaslonov in ohišja v elektroniki,
- kondenzatorje,
- kot konstrukcijski material, ...

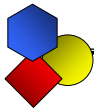


Aluminijeve zlitine

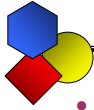
2.4.2
47

- Namen legiranja je poboljšati:
 - mehanske lastnosti,
 - tehnološke lastnosti in
 - korozijsko odpornost.
- Običajni legirni elementi: Mn, Si in Fe (aldrey, hidronalij, almelec, silumin do 12 % Si, idr).
- Vpliv legirnih elementov na spremembo lastnosti:
 - Si, Mg (< 1 %): izboljšata mehansko trdnost pri dobri γ ,
 - Cu, Si, Mg, Mn, Ni: izboljšajo mehansko trdnost ob precejšnjem poslabšanju γ ,
 - Mn, Ni: izboljšata toplotno obstojnost,
 - Mg, Mn: poboljšata korozijsko obstojnost.

UPOROVNI MATERIALI

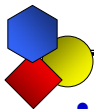


Uporovni materiali

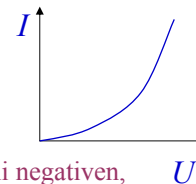
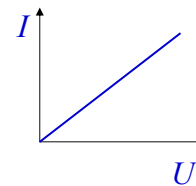
2.5
47

- Specifična upornost: $(0,2 - 1,5) \cdot 10^{-6} \Omega m$.
- Delitev materialov:
 - **kovinski**: so v glavnem zlitine, imajo niz prednosti,
 - **nekovinski**: se uporabljajo v posebne namene.
- Uporaba:
 - za **upore**: za omejevanje toka ali za delitev napetosti, senzorje,
 - za **greלce**: pretvorniki električne energije v toplotno,

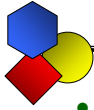
Uporovni materiali

2.5
47

- Delitev uporov:
 - Po karakteristiki:
 - **linearni**:
 - linearni odnos med tokom in napetostjo,
 - praviloma kovinski materiali,
 - temperaturni koeficient upornosti je pozitiven.
 - **nelinearni**:
 - upornost je odvisna še od dodatnih vplivov:
 - » napetost - **varistor**,
 - » svetloba - **fotoupor**,
 - » temperatura - **termistor**, ipd).
 - temperaturni koeficient je lahko pozitiven ali negativen,
 - materiali so običajno nekovinski.

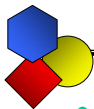


Uporovni materiali

2.5
47

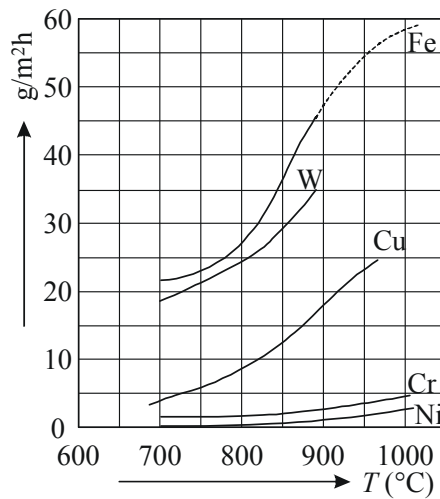
- Delitev uporov:
 - Po funkciji:
 - **Diskretni** (opravlja funkcijo R),
 - **Integrirani** (razen R opravlja še druge funkcije).
 - Po izvedbi:
 - **žični** (samo diskretni),
 - **plastni** (diskretni ali integrirani) in
 - **masivnimi** upori (samo diskretni).

Kovinski uporovni materiali za žične upore

2.5.1
48

- Visoke upornosti dosegamo z:
 - legiranjem,
 - hladnim preoblikovanjem in
 - termično obdelavo.
- Visoko temperaturno obstojnost dosegamo:
 - Z izborom čistih kovin:
 - platina,
 - wolfram in molibden: nevtralna atmosfera, za temperaturo do 1700 °C.
 - Z uporovnimi zlitinami.

Intenzivnost oksidacije kovin na zraku v odvisnosti od temperature

2.5.1
48

Uporovne zlitine

- **Uporovne zlitine za precizne upore:** (predupori in shunti za instrumente, uporovne normale, ...)

– Zahteve:

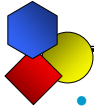
- velika specifična upornost,
- mali temperaturni koeficient α ,
- mala termoelektrična napetost proti bakru in
- izredna časovna stabilnost električne upornosti (umetno staranje)

– Primeri:

- **manganin** (86% Cu+12% Mn+2% Ni),
- **izabelin** (13 % Mn+ 3 % Al+ostalo Cu),
- **novokonstantan** (13,5 % Mn+1 % Fe+ 3 % Al).

2.5.1
48

Uporovne zlitine

2.5.1
49

• Uporovne zlitine za delovne, splošne in regulacijske upore:

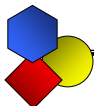
– Zahteve:

- časovna stabilnost električne upornosti (neobčutljivost na staranje),
- termične obremenitve: do vsaj ≈ 200 °C.

– Primeri:

- Cu+Ni: popolna topnost, izredna sposobnost vlečenja (do ϕ 0,02 mm) in valjanja,
- Cu+Ni+Zn,
- **konstantan** (54% Cu+45% Ni+1% Mn):
 - tanki sloj oksida je izolacijski,
 - možnost gostega navijanja, napetost ovoja ≤ 1 V,
 - visoka termoelektrična napetost ($40 \mu\text{V/K}$), ni za precizne R,
 - temperaturno področje do 400 °C.

Uporovne zlitine

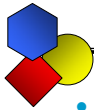
2.5.1
49

• Uporovne zlitine za grela:

– Zahteve:

- trajno obratovanje pri visokih temperaturah (do 1000 °C),
- čim cenejši,
- odporni proti kisiku pri povišani temperaturi - tvorba oksida:
 - oksid izpareva (W in Mo), potrebna zaščita,
 - oksid ne izpareva, dovolj gost in ne poka (Al, Ni, Cr),
- odporni proti vplivu podlage, na katero so naviti.

Uporovne zlitine

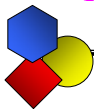
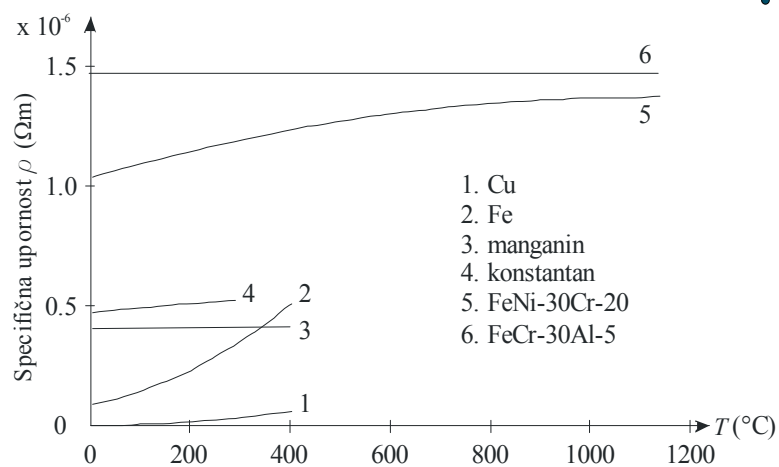
2.5.1
49

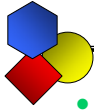
• Uporovne zlitine za grela:

– Primeri:

- Zlitine z Ni: Cr+Ni
 - brez Fe, z malo Fe in mnogo Fe,
 - Fe ima nalogo povečanja upornosti (cekas 0, cekas I, cekas II, nikrom, kromel, gloway itd.),
 - zlitine z Fe so cenejše,
 - uporabna temperatura do ~1200 °C.
- Zlitine brez Ni: Cr +Al +Fe, Cr +Fe +Si
 - odsotnost Ni poceni material,
 - Si, Al povečata toplotno obstojnost,
 - zahtevajo korozijsko zaščito,
 - predstavniki: [megapir (Fe Cr 30 Al 5), cekas ekstra] do 1300 °C
sintrani (Fe - Cr - Al) do 1400 °C.

Temperaturne odvisnosti upornosti nekaterih čistih kovin in zlitin

2.5.1
50

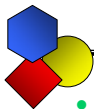


Uporovni materiali za plastne upore

2.5.2
50

- diskretni ali integrirani upori,
- zahteve:
 - točnost upornosti,
 - staranje,
 - šumnost
- materiali:
 - **kovinski** (čiste kovine ali zlitine),
 - **nekovinski** (polprevodniški),
- **debeloplastni** (od 10 do 30 μm),
- **tankoplastnih** (od 50 do 100 nm),

Zaradi toplotnega gibanja elektronov nastanejo področja z različnimi koncentracijami elektronov \rightarrow napetost šuma.

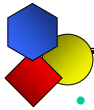


Uporovni materiali za plastne upore

2.5.2
51

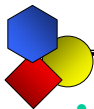
- **Debeloplastni upori:**
 - so izdelani iz uporovnih past,
 - paste nanesemo po postopku sitotiska na podlago in žgemo med 750 in 1000 $^{\circ}\text{C}$,
 - sestava paste:
 - prah prevodnega materiala premera od 1 do 10 μm :
 - čiste kovine (Pd, Pt, Ru),
 - zlitina Ni-Cr,
 - kovinski oksidi (npr. PaO, RuO₂, MoO₂ idr.),
 - kovinske spojine (npr. TaN, ZrB idr.)
 - specialni sestavi (npr. Au + SiO₂, Pb₂RuO₂, Bi₂Ru₂O₇ idr.);
 - prah izolacijskega materiala premera od 1 do 10 μm (stekleni prah)
 - **vezivo (umetna masa)**
 - čim manj je v pasti prve komponente tem večja je upornost.

Uporovni materiali za plastne upore

2.5.2
51

- Tankoplastni upori:
 - plast nanašamo s pomočjo napanjanja ali napaševanja,
 - prednosti proti debeloplastnim so:
 - ožje tolerance upornosti,
 - manjši temperaturni koeficienti upornosti,
 - staranje vpliva na spremembo upornosti z manj kot 1 % in
 - zelo majhni nivo šumnosti
 - vpliv na upornost:
 - specifična upornost materiala
 - površina podlage (medatomska razdalja),
 - debelina zrna,
 - kristalna struktura,
 - tehnološki postopek
 - materiali:
 - čiste kovine (npr. Ag, Cr, Cu, Ir, Ni, Pt idr.),
 - zlitine (Ni-Cr, Ta-Al, Si-Cr ipd.),
 - posebni sestavi (npr. Au-WO₃).

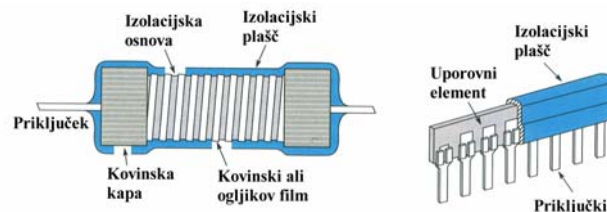
Nekaj izvedb uporov



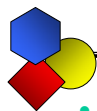
- Masivni upori



- Plastni upori



Fizični izgled električnih uporov



- Plastni ogljikovi R, kovinski R



- žični R



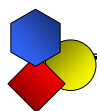
- R v obliki čipov



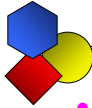
- Nastavljivi R



MATERIALI ZA KONTAKTE

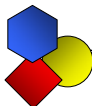


Materiali za kontakte

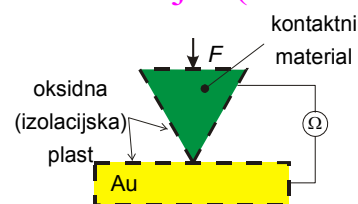
2.6.1
52

- Uporabljajo se za izdelavo kontaktov katerih naloga je sklepanje in prekinjanje električnih tokokrogov.
- Nahajajo se v ekstremnih pogojih → zahtevane so posebne lastnosti:
 - **mehanske** (udarjanje, drsanje, obraba, ...),
 - **električne** (notranja in kontaktna upornost, ...)
 - **toplotne** (toplotna prevodnost, odpornost na oblok in zavaritve, ...),
 - **kemične** (odpornost na korozijo, erozijo, ...)

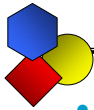
Električne lastnosti kontaktnih materialov

2.6.1
52

- Kontaktna upornost naj bo čim manjša (čim manj oksidov):
 - plemenite kovine,
 - oglje (plinasti oksidi),
 - Merilo kontaktne upornosti je sprememba prehodne upornosti v dotiku z Ag ploščo po 6 mesecih,
 - Pomembna čistoča površin kontaktnih mest.



Električne lastnosti kontaktnih materialov

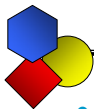
2.6.1
52

• Kontaktne upornosti nekaterih materialov

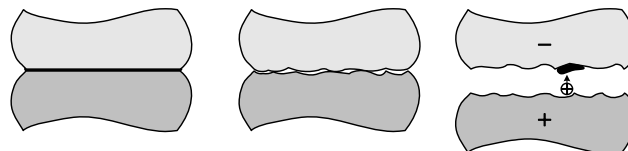
Kovina	Začetna upornost $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	Upornost po 6. mes. $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	Faktor povečanja
Pt	0,001	0,005	5
Ag	0,001	0,01	10
Cu	0,05	20	400
W	1	10	10

- Specifična upornost materiala:
 - Čim manjša (male jouske izgube), →
 - Čim večja toplotna prevodnost (odvod toplote).

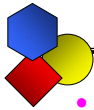
Električne lastnosti kontaktnih materialov

2.6.1
53

- Trošenje materiala zaradi:
 - iskrenja (električni oblok pri $U >$ od 12 do 22 V, odvisno od materiala),
 - uparjanja (erozija),
 - potovanja materiala iz kontakta na kontakt (problem pri enosmernih tokovih).



Vrste kontaktov

2.6.2
53

- Kontakte glede na funkcijo delimo na:

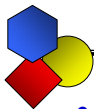
- stalne,
- prekinjevalne in
- drsne.

- Stalni kontakti:

- prekinjamo v breznapetostnem stanju
- Primeri: ločilke, vijaki, ploščate (elastične) sponke, vijačne sponke, kabelski čevlji, ...
- kontakti so atmosfersko zaščiteni: kateri koli material,
- kontakti niso atmosfersko zaščiteni: korozijsko odporni in ceneni materiali (Cu, Hg, Ag, bron, medenina, neerjavna jekla). Spoj (Al-Cu ni dovoljen).

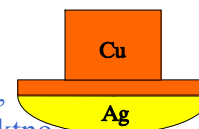


Vrste kontaktov

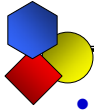
2.6.2
54

- Prekinjevalni kontakti:

- močnostni kontakti:
Ag, W, Mo, Ni in Cu (v olju, plinu SF₆ ali vakuumu),
- za majhne kontakte in male tokove:
Oksidacijsko odporne kovine: Au, Ag, Pt, Ni, zlitine Pt in Ir ali sinter Pt napolnjen s Cu ali Ag (ni erozije samo korozija).
- platirani kontakti:
Na cenejšo osnovo (Cu, medenina) prilepimo, privarimo, prispajkamo ali prikovičimo kontaktno ploščico iz plemenite kovine.

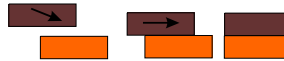


Vrste kontaktov

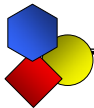


• Drsni in kotalni kontakti:

- lahko so istočasno prekinjevalni,
- material mora sam sebe mazati,
- en kontakt je srebrov, kromov ali kadmijev bron,
- drugi kontakt je ogljikova ščetka ali mehka zlitina (amorfno oglje, grafit, metalizirani grafit in mešanice),
- bolj se mora obrabljati cenejši ali laže zamenljiv,
- Primeri uporabe: drsni obroči, kolektorji, varilni aparati, spremenljivi upori, avtotransformatorji, električna vleka, žerjavi, ...
- V moderni stikalni tehniki se pogosto uporabljajo drsno prekinjevalni kontakti (drsanje ima funkcijo čiščenja površine).



KOVINSKI MATERIALI



KONEC