

SVEUČILIŠTE U ZADRU
 Universitas Studiorum Jadertina





**TEHNOLOGIJA
 MATERIJALA I
 OBRADÉ**

mr.sc. Petar Čovo, dipl. ing.

Zadar 2005

Opći podaci

Studijski program	Brodostrojarstvo i tehnologija pomorskog prometa					
Godina održavanja	prva		Semestar (modul) održavanja		I	
Status kolegija	temeljni		Izbori	-	dopunska znanja(STCW)	da
Trajanje	semestar	da	modul	-	trimestar	-

Ciljevi , zadaci i planirani ishod kolegija

Cilj nastave je da se studenti upoznaju s osnovnim svojstvima materijala iz kojih su proizvedeni elementi brodskih strojeva te s osnovnim tehnološkim postupcima zavarivanja i obrade skidanjem čestica koji se primjenjuju na brodu.

Okvirni sadržaj kolegija

Ispitivanja čvrstoće i tehnološka svojstva materijala, osnove metalografije, osnovni postupci proizvodnje željeza i čelika, osnove toplinske obrade i nastanka korozije, osnove građe polimernih materijala te osnove tehnološkog postupka elektrolučnog zavarivanja i obrade materijala postupkom skidanja čestica.

Program laboratorijskih vježbi: mjerenja ručnim mjernim alatima; strojna obrada na tokarilici, glodalici, bušilici brusilici, oštrilici; ručna obrada; ručno zavarivanje obloženom elektrodom i TIG postupkom; mjerenje statičke i dinamičke čvrstoće materijala kidalicom i umaralicom, mjerenje tvrdoće, mjerenje žilavosti materijala; identificiranje strukture metala mikroskopom.

Razvijanje općih kompetencija (znanja i vještina)

Upoznati se sa strukturom i osobinama materijala i tehnološkim postupcima obrade

Razvijanje specifičnih kompetencija (znanja i vještina)

Davanje znanja propisanih STCW i IMO Model Courses za službu upravitelja stroja iz područja Tehnologije materijala

Oblici provođenja nastave i usvajanja znanja

Predavanja	30	Multimedija i Internet	
Vježbe		Konzultacije	15
Pojedinačni rad	-	Projekti ili terenski rad	
Skupni seminari	-	Drugi praktičan rad	
Laboratorijski rad	30	Ostalo	

Način provjere znanja

Pohadanje nastave	0,5	Seminar	
Aktivnost u nastavi	0,5	Istraživanje	
Seminarski rad		Projekt	
Eksperimentalni rad		Kontinuirana provjera znanja	1,0
Pismeni ispit	1,0	Referat	
Usmeni ispit	1,0	Praktični rad	

Obvezna literatura za studij i polaganje ispita

Šestan, A.:

Tehnologija materijala i obrade. Pomorski fakultet, Rijeka, 1997.

Način polaganja ispita

Pismeni ispit	X		Program	-
Usmeni ispit	X		Praktičan rad	-
Pismeni rad	-		Ostali načini provjere kolokvij	8
Seminarski rad	-			

Satnica i bodovanje		
ECTS – koeficijent opterećenja studenta		4
Broj tjedana po semestru, trimestru, modulu		15
Broj sati tjedno	Predavanja	2
	Vježbi / seminara	2
	Drugi načini nastave	-
Ukupan broj sati	Predavanja	30
	Vježbi / seminara	30
	Drugi načini nastave	-
Ukupno dana terenske nastave		
Sveukupno sati (uključujući predviđeno vrijeme za polaganje ispita)		80

Preduvjeti za upis kolegija	
Kolegiji koje je potrebno položiti	-
Preduvjeti za prijavu ispita:	70% prisutnosti na predavanjima i vježbama
Način praćenja kvalitete i uspješnosti izvedbe kolegija	
Praćenje prisutnosti predavanjima i vježbama i uspješnost odgovaranja na kolokvijima (8x)	

Korespondentnost i korelativnost programa
<p>Program je korespondentan s programima referentnih sveučilišta:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) STCW konvencija b) Massachusetts Maritime Academy c) Gdynia Maritime Academy d) Faculty of maritime studies NORWEY <p>Program je u koleraciji s sljedećim kolegijima: Čvrstoća materijala, Elementi strojeva, Menadžment održavanja, Konstrukcija broda, Tehnička mehanika</p>

TEHNOLOGIJA MATERIJALA I OBRADJE

1. Mehanička i tehnološka svojstva materijala
2. Osnove metalografije
3. Proizvodnja sirova željeza
4. Proizvodi i vrste čelika

5. Ljevovi na bazi čelika
6. Osnove toplinske obrade
7. Obojeni metali i njihove legure
8. Korozija i zaštita metala
9. Polimerni materijali
10. Elektrolučno zavarivanje
11. Obrada odvajanjem čestica

1. Mehanička i tehnološka svojstva materijala

1. Ispitivanje vlačne čvrstoće
2. Ispitivanje čvrstoće na savijanje
3. Statička izdržljivost i puzavost
4. Ispitivanje žilavosti
5. Ispitivanje dinamičke izdržljivosti
6. Ispitivanja tvrdoće
7. Tehnološka ispitivanja
8. Fizička ispitivanja

1. Mehanička i tehnološka svojstva materijala

- Mehanička svojstva – mehanička otpornost prema djelovanju vanjskih sila.

Čvrstoća Elastičnost Tvrdoća

Rastezljivost Žilavost

Otpornost na umor

1. Mehanička i tehnološka svojstva materijala

- Tehnološka svojstva – osobine materijala s gledišta obrade

Gnječivost Livljivost

Obradivost odvajanjem čestica

Termička obradivost

• *Vanjsko djelovanje sila*

- OPTEREĆENJE
- Dinamičko
- Statičko

Brzina
Trajanje
Način djelovanja

• *Unutarnje djelovanje sila*

- NAPREZANJE

Reakcija unutarnjih sila na opterećenje

$$\sigma = F/A$$

σ - unutarnje naprezanje
N/mm²

F – vanjska sila, N
A – površina, mm²

Vrste opterećenja

σ Vlak	τ Torzija
σ Tlak	τ Odrez ili smik
σ Izvijanje	σ Savijanje

Čvrstoća	Istezljiv Krut
Tvrdoća	Otpor prema prodiranju
Žilavost	Udarno opterećenje Lomljivost
Statička izdrživost	Puzavost
Dinamička izdrživost	Umorljivost

1.1. Ispitivanje vlačne čvrstoće

Čvrstoća je svojstvo otpornosti kod statičkog kratkotrajnog opterećenja

Standard HRN C.A4.002.

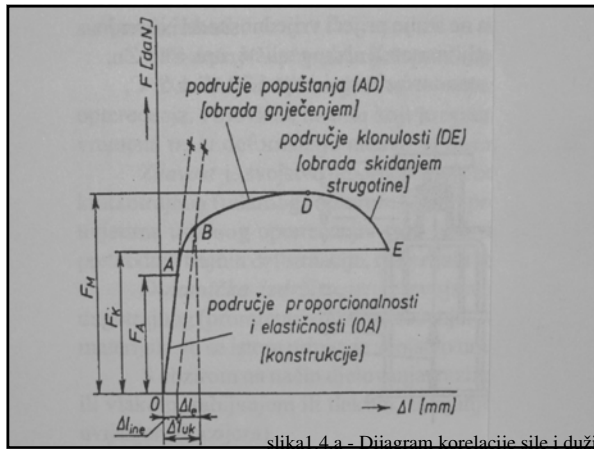
1. Oblik i mjera epruveta
2. Brzine opterećenja
3. Temperaturu epruvete
4. Način prikazivanja rezultata

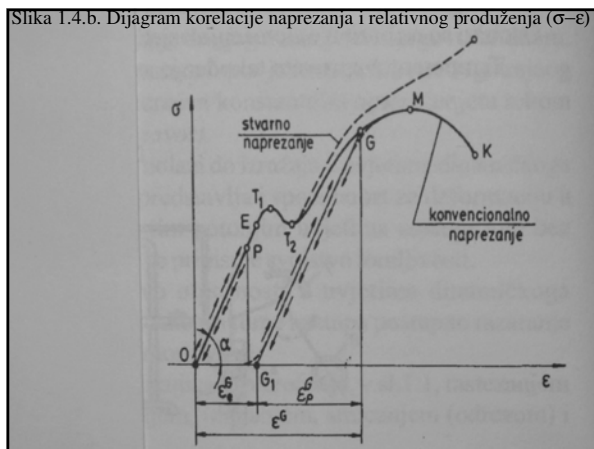
Hookeov zakon naprezanja

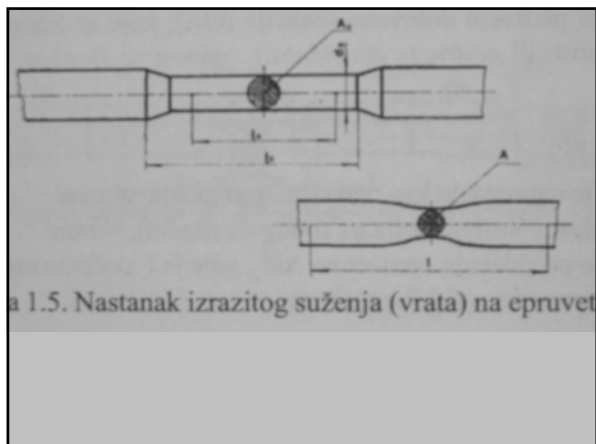
Hookeov zakon se odnosi na područje proporcionalnosti ili područje elastičnosti

$$\sigma = E \varepsilon$$

- σ – unutrašnje naprezanje, reakcija opterećenja, N/mm²
- E – modul elastičnosti materijala (Young), N/mm²
- ε – relativno produženje epruvete $\Delta l/l_0$







1.2. Ispitivanje čvrstoće na savijanje

- Primjenjuje se za određivanje čvrstoće na savijanje i sposobnosti deformacije slabo rastezljivih metala, npr. sivog lijeva
- Standard HRN C.A4.012

Slika 1.6. Položaj epruvete i sila opterećenja

- Čvrstoća na savijanje određuje se izrazom

$$\sigma_{sv} = Fl_0/4W \text{ N/mm}^2$$

σ_{sv} – naprezanje na savijanje

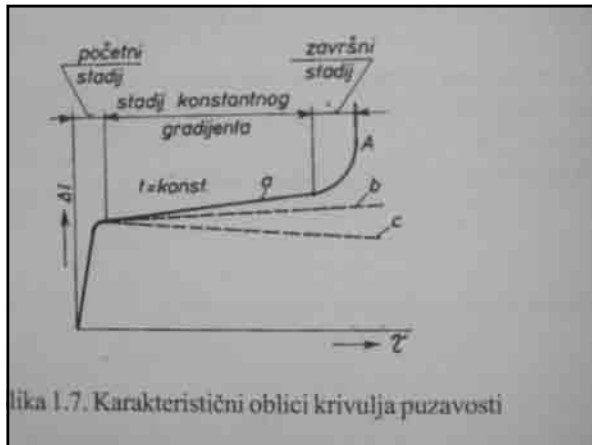
F- sila

l_0 - razmak između oslonaca

W- otporni moment presjeka epruvete, m³

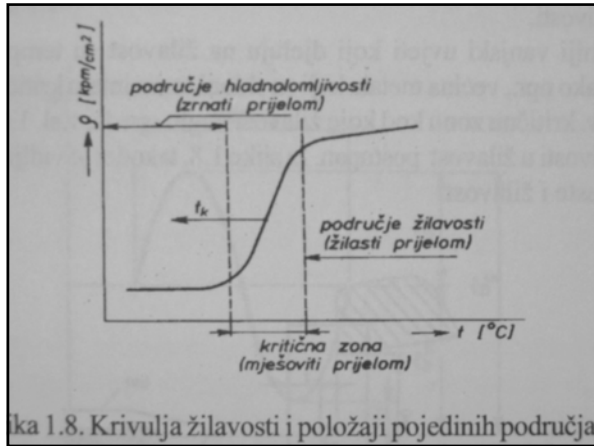
1.3. Statička izdržljivost ili puzavost

- Konstrukcijski elementi su opterećeni dugotrajno te deformacija rase i bez porasta opterećenja.
- Puzavost materijala ovisi o:
 - vremenu,
 - temperaturi,
 - opterećenju.



1.4. Ispitivanje žilavosti

- Žilavost je svojstvo otpornosti u uvjetima dinamičkog kratkotrajnog opterećenja.
- Deformacija udarnog opterećenja
- Najčešće je
 - rastezljivi metal žilaviji
 - krhki metal lomljiviji
- Promjenom temperature mijenjaju se karakteristike u ovisnosti rešetci metala

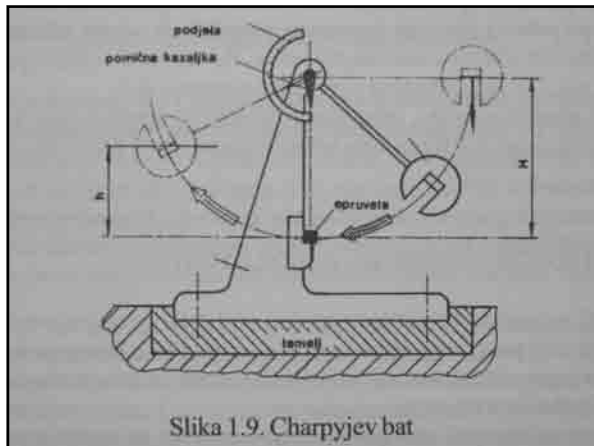


Sl. 1.8. Krivulja žilavosti i položaji pojedinih područja

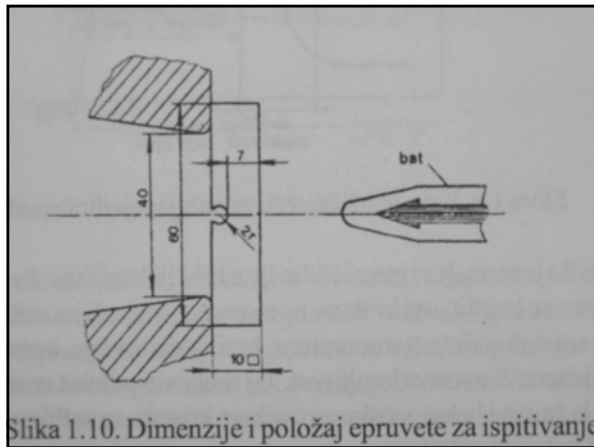
- Najvažniji vanjski uvjeti koji djeluju na žilavost:
 - » Temperatura
 - » Brzina opterećenja

Postupak ispitivanja žilavosti

- Količina rada koja se utroši po jedinici površine poprečnog presjeka pri odrezu epruvete jednim udarcem Charpyjevim batom.
 - Potencijalna energija = $G H$
 - Lom $R_0 = G (H-h)$



Slika 1.9. Charpyjev bat



Slika 1.10. Dimenzije i položaj epruvete za ispitivanje

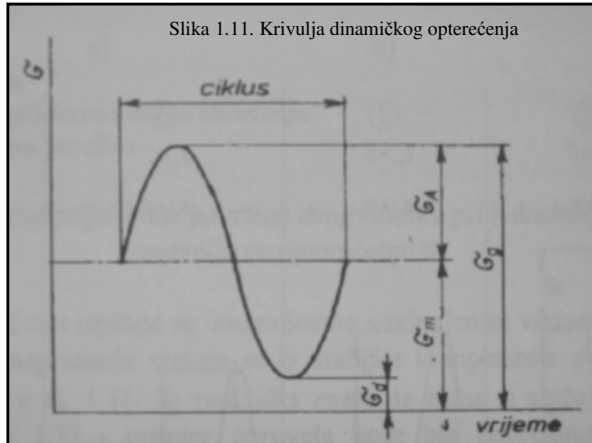
1.5. Ispitivanje dinamičke izdržljivosti

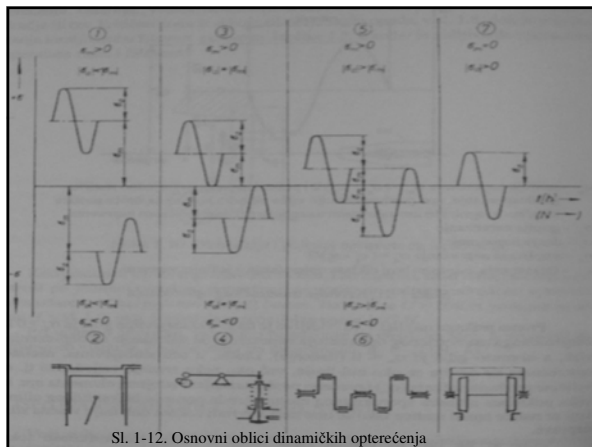
- Promjenljivo (titrajno) opterećene postupno razara materijal.
- Umor materijala je vezan uz pojavu koncentriranih naprezanja na mjestu inicijalne pukotine u materijalu.
- Pojavljuje se pukotina koja se širi do pojave loma.

Postupak ispitivanja

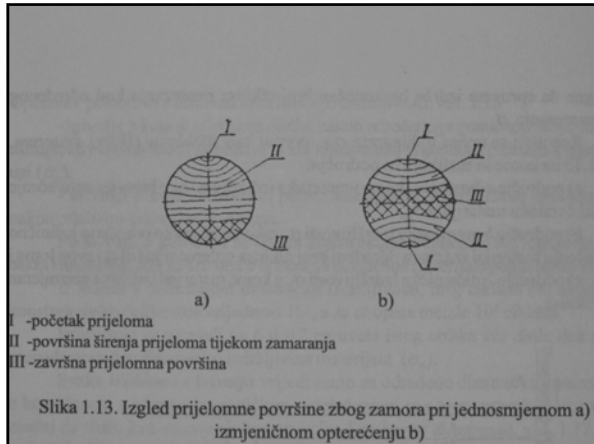
- Epruvete se promjenljivo opterećuju po sinusoidnom zakonu u kombinaciji s statičkim opterećenjem σ_m
- σ_m - statičko naprezanje (srednje) $\sigma_m = (\sigma_g - \sigma_d) / 2$
- σ_g - gornje naprezanje
- σ_d - donje naprezanje
- σ_A - amplituda naprezanja $\sigma_A = (\sigma_g - \sigma_d) / 2$
- f - frekvencija, broj ciklusa opterećenja

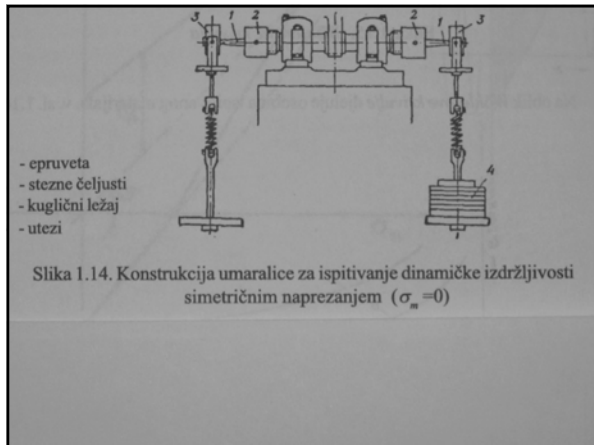
Slika 1.11. Krivulja dinamičkog opterećenja





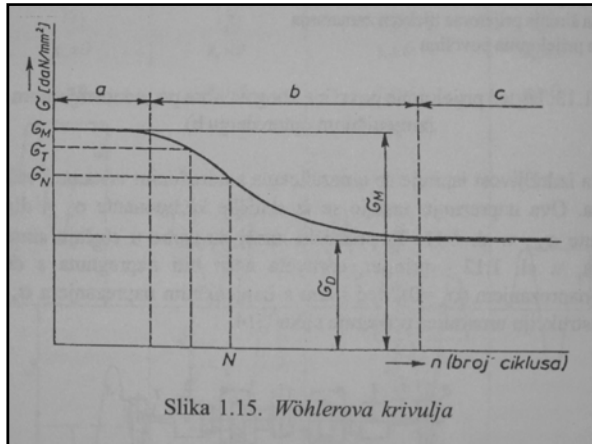
Sl. 1-12. Osnovni oblici dinamičkih opterećenja

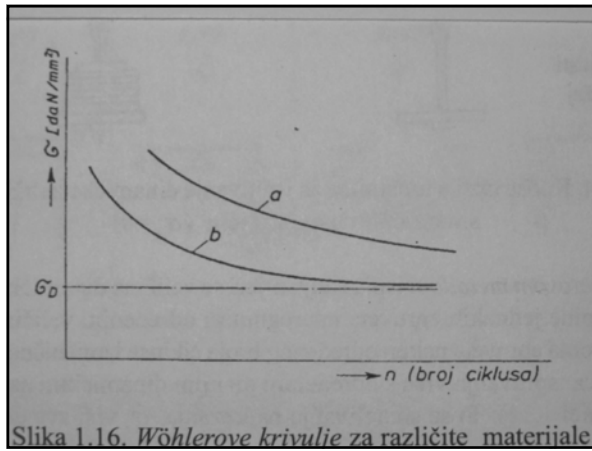




Wohlerov dijagram

- Dijagram određuje tri područja vremenska izdržljivost:
 - a) kidanje, opterećenje prelazi čvrstoću materijala
 - b) lom kod jednoličnog opterećenja i određeni broj ciklusa
 - c) dinamička izdržljivost, materijal izdržava opterećenje i neizmjeran broj ciklusa

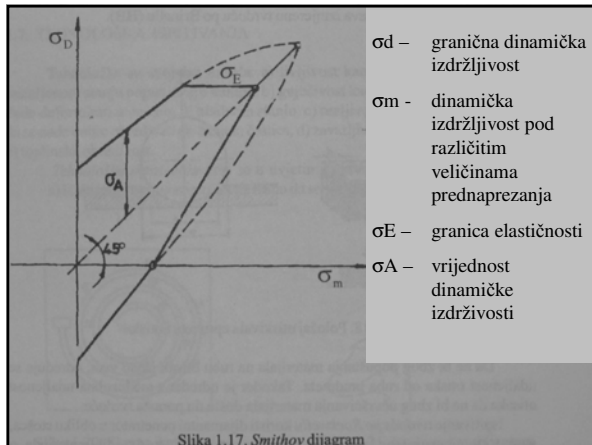




- a. Obični konstrukcijski čelici, neke legure na osnovi bakra i aluminija
 - b. Plastični materijali (bijela kovina)
- Broj ciklusa (n)
 - 10⁷ – konstrukcijski čelik
 - 10⁸ – obojeni metali
 - Ispitivanje se provodi na 6 do 12 epruveta

Smithov dijagram

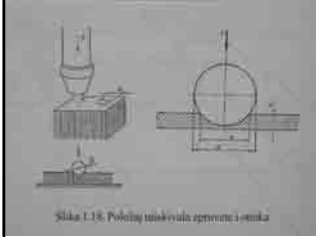
- Svaka Wohlerova krivulja vrijedi samo za određeno dinamičko opterećenje za određeno statičko opterećenje
- Smithov dijagram prikazuje trajnu dinamičku izdržljivost materijala i njegove promjene u ovisnosti o srednjem naprezanju.
- Slika 1.17. Prikazuje samo pozitivni dio dijagrama, ispitivanje vlačnim naprezanjem.



1.6. Ispitivanje tvrdoće

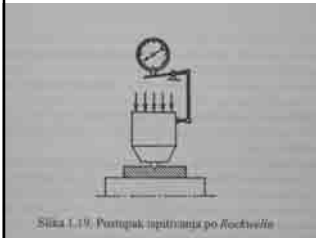
- Vršiti se na samom strojnom elementu, a dobiveni rezultati mogu poslužiti za procjenu i drugih mehaničkih svojstava
- Ispitivanje tvrdoće po Brinellu, vrši se čeličnom kuglicom. HRN C.A4.OO3
- Ispitivanje tvrdoće po Rockwellu, vrši se dijamantnim stošcem ili kuglicom. HRN C.A4.031

Ispitivanje tvrdoće po Brinellu



- Čelična kuglica ϕ
- Sila F
- Vrijeme τ
- Iz tablica se očitava vrijednost tvrdoće HB

Ispitivanje tvrdoće po R



- Dijamantna kuglica 1/16 " meki materijali HRB
- Dijamantni stožac 120 stupnjeva HRC
- Vrijeme 10 sekundi
- Iz tablica se očitava vrijednost tvrdoće HRB ili HRC

Ispitivanje tvrdoće po Vickersu

- HRN C.A4.030
- Vickerova metoda je načelno jednaka Brinellovoj.
- Razlikuje se po penetratoru
- Četverostrana istostranična dijamantna piramida s vršnim kutom od 136 stupnjeva (tolerancija 30 minuta)

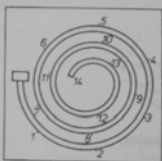
Ispitivanje tvrdoće po Shoreu

- Otpor je razmjeran elastičnosti materijala
U spravi za mjerenje (skleroskop) puštamo čelični batić težine 23,15 N (1/12 unce) slobodno pada kroz staklenu cijev s visine 254 mm (10 cola), na glatku površinu.
Prema visini prvog odskoka određujemo tvrdoću.
Mjeri se na više različitih mjesta i uzima sredni rezultat.
Rezultati nisu pouzdani jer se temelje na elastičnosti.
Postupak je pogodan za brušene površine kad nesmiju ostati otisci.

1.7. Tehnološka ispitivanja

- Tehnološka svojstva metala su
 - a. Livljivost – popunjavanje kalupe
 - b. Gnječivost – deformacija u vrućem, hladnom stanju
 - c. Rastezljivost – obrada skidanjem čestica
 - d. Zavarljivost i lemljivost
 - e. Toplinska obradivost

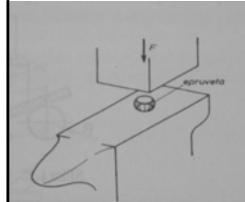
Ispitivanje livljivosti



Slika 1.20. Shema ispitivanja livljivosti

- Ista količina litine različitih metala lijeva se u utor koji ima oblik Arhimedove spirale.
- Dostignuta dužina mjerilo je svojstva livljivosti pripadne legure.

Ispitivanje gnječivosti

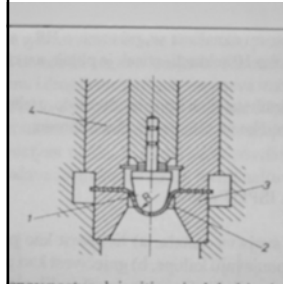


Slika 1.21. Ispitivanje sabijanjem

- Čekićem se vrši pokus sabijanjem epruvete dva dva puta veće od promjera.
- Deformacija u hladnom stanju, 1/2 prvobitne visine
- Deformacija u vrućem stanju 1/3 prvobitne visine

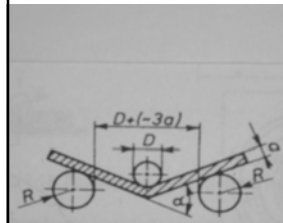
Zadovoljavajuća kvaliteta, epruveta po obodu ne puca.

Ispitivanje rastezljivosti



- Metoda Erichsena
 - 1. Loptasti žig $R=20$ mm
 - 2. Lim $\phi=70$ mm
 - 3. Prstenasti oslonac
 - 4. Potiskivalo
- Utiskuje se do pojave pukotine.
Mjera, dubina utiskivanja

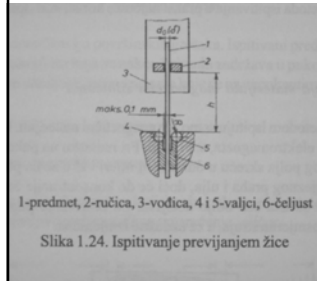
Ispitivanje savijanjem



Slika 1.23. Ispitivanje savijanjem

- Opterećenje se postupno povećava dok se s vanjske strane epruvete na pojave pukotine.
- Mjerilo sposobnosti savijanja predstavlja kut α koji se mora prekoračiti, a da se ne pojave pukotine.

Ispitivanje previjanjem



- Žica iznad 3 mm
- Lim, traka ispod 3 mm
- Vršiti se previjanje iz početnog položaja za 90 i vraćanje u prvotni položaj
- Pokazatelj svojstva previjanja je broj postignutih previjanja do pojave loma.

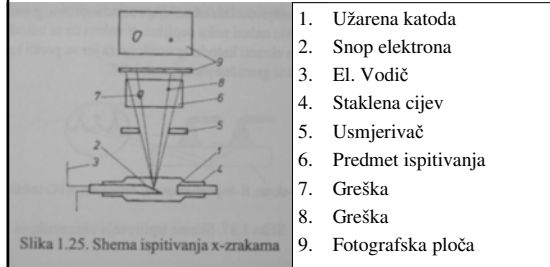
1.8. Fizička ispitivanja

- Metoda ispitivanja materijala:
 - a) X-zrakama
 - b) Magnetskim silnicama
 - c) Ultrazvukom
 - d) Fluorescencijom
 - e) Penetrantima

Metoda ispitivanja materijala: X-zrakama

- Temelji se na sposobnosti x-zraka da prolaze kroz metale pri čemu dolazi do različite jačine apsorpcije u ovisnosti o njegovoj gustoći.
- Što su x-zrake manje valne duljine, prodiranje je veće.
- X-zrake nastaju pri naponu 500.000 V
- Primjenjuju se za predmete do 200 mm
- Najčešće se koristi kod ispitivanja poroznosti zavara.

Metoda ispitivanja materijala: X-zrakama



Slika 1.25. Shema ispitivanja x-zrakama

1. Užarena katoda
2. Snop elektrona
3. El. Vodič
4. Staklena cijev
5. Usmjerivač
6. Predmet ispitivanja
7. Greška
8. Greška
9. Fotografaska ploča

Metoda ispitivanja materijala: ultrazvukom



Slika 1.27. Shema ispitivanja ultrazvukom

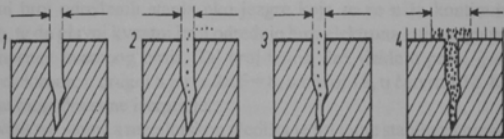
Kad se u metalu nalazi šupljina, ultrazvučni valovi će se odbiti prije će se registrirati na ekranu katodnog oscilografa jer su prešli kraći put.

Metoda ispitivanja materijala: Fluorescencijom

- Koristi se za identifikaciju površinskih grešaka.
- Ispitivani predmet premazuje se fluorescentnom materijom koja se nakon brisanja zadržava u pukotinama.
- Predmet se osvjetljava ultraljubičastim zrakama koje će na napuknutim mjestima izazvati fluorescenciju.

Metoda ispitivanja materijala: Penetrantima

- Pukotine zaostale poslije kaljenja, zavarivanja, dinamičkog opterećenja
 - Penetrant (crven) se rasprši, premaže, čeka 5 minuta
 - Ispere se i osuši
 - Tanki film (bijeli) razvijatelj se rasprši, premaže, čeka 1-2 minute
 - Pokažu se oštri rubovi pukotine crveno bijele boje, (pukotina upijanja)



Slika 1.28. Ispitivanje penetrantima

2. Osnove metalografije

- 2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe
- 2.2. Osnove kristalografije
- 2.3. Izgradnja rešetke kod legura
- 2.4. Kristalizacija
- 2.5. Dijagrami slijevanja

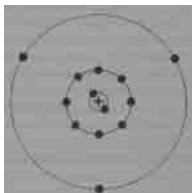
2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe

- Materija se sastoji:
 - Molekula
 - Atoma
 - Elektron
 - Jezgre
 - » Proton (pozitivno nabijen)
 - » Neutron (bez naboja)
- Električki neutralan \rightarrow elektrona=protona

2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe

- Kvantna teorija
- Kvantni broj $\rightarrow 2n^2$
- - određuje broj elektrona koji pristaju u ljusci.
 - Prva ljuska $2 \cdot 1^2 = 2$
 - Druga ljuska $2 \cdot 2^2 = 8$
 - Treća ljuska $2 \cdot 3^2 = 18$
 - Četvrta ljuska $2 \cdot 4^2 = 32$

Shema konfiguracija elektrona atoma aluminija



2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe

- Stabilna stanja ne djeluju na svojstva elemenata, nego ta svojstva uglavnom ovise o nestabilnim stanjima.
- Stabilna stanja su potpuno uravnotežena i zato bez vanjska pobude ne teže promjenama.

2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe

1. Električni karakter atoma

Broj elektrona u vanjskoj ljusci manji od 8

- Elektropozitivnost
- Električna naopredjeljenost
- Elektronegativnost

2. Valencija elemenata

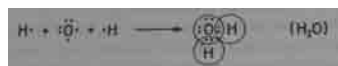
- Elektropozitivnost - s brojem elektrona u nestabilnom stanju
- Električna neopredjeljenost - s 4 elektrona = četverovalentni
- Elektronegativnost - s br. el. koji nedostaju do stabilnosti

2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe

- Atomski agregati su:
 - a) Ionski, (elektrostatski, homeopolarni, valentni)
 - b) Kovalentni, (homeopolarni, atomski spoj)
 - c) Metalna rešetka, (metalski rešetkasti spoj)

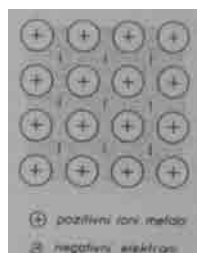
2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe

- **Ionska veza**, atomi postižu oktet, dajući (donator) ili primajući (akceptor) elektrone.
- **Kovalentna veza**, zajednički elektronski parovi kruže oko jezgre.

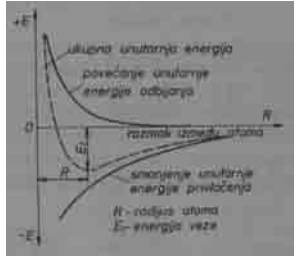


2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe

- Metalna veza, svaki atom u kristalnoj rešetki daje jedan elektron i postaje pozitivan ion.



2.1. Fizičko kemijske osnove metalne građe



Energetska razina elektrona, funkcija razmaka među atomima

Razmaci među atomima u kristalnoj rešetki ovise o veličini atoma.

Tip rasporeda atoma o valentnim elektronima.

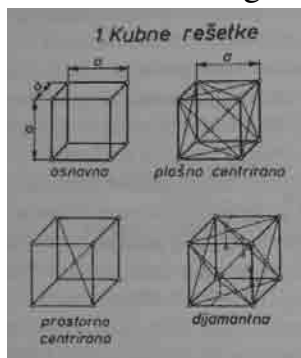
Promjer atoma:

- Broj popunjenih ljuski
- Jačine privlačnih sila

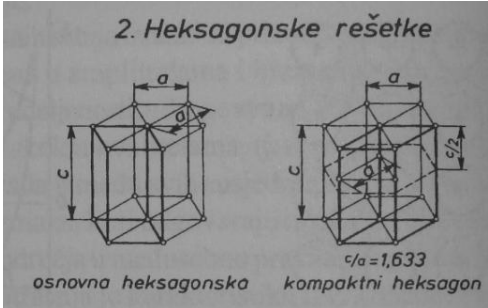
2.2. Osnove kristalografije

- Kristali su krute materije u kojima su u unutrašnjosti atomi pravilno raspoređeni, a prema van su omeđeni ravnim plohama.
- Kristali imaju određen geometrijski oblik i kutove između određenih ploha koji su konstantni za određenu tvar.

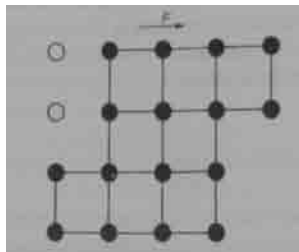
2.2. Osnove kristalografije



2.2. Osnove kristalografije



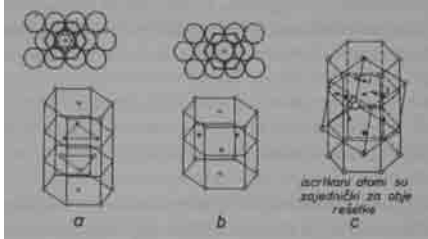
2.2. Osnove kristalografije



2.2.1. Pretvorba rešetke

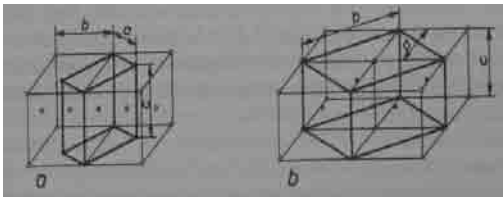
- Osnovne kristalne rešetke međusobno su slične.
- Tvrde kugle naslagane jedna na drugu tvore heksagonsku ili plošno centriranu kubnu rešetku.

2.2.1. Pretvorba rešetke



- Sličnost plošno centriranog kuba s kompaktnim heksagonom

2.2.1. Pretvorba rešetke



- Odnos između:
 - a) plošno centriranog i prostorno centriranog kuba
 - b) prostorno centriranog kuba i plošno centrirane tetragonske rešetke (alotropna modifikacija)

2.3. Izgradnja rešetke kod legura

- U tehničkoj praksi najčešće se ne radi s čistim metalima, već legurama ili slitinama, koje mijenjaju svojstva osnovnog metala.
- Vrste kristalnih rešetki legura:
 - a) Smiješani kristali
 - b) Kristali mješanci
 - c) Kristali intermetalnog spoja

2.3. Izgradnja rešetke kod legura

a) Smiješani kristali

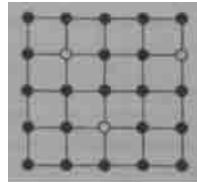
Nastaju u načelu kod elemenata koji se uopće međusobno ne rastvaraju.

Nastaje kruta smjesa raznovrsnih kristala.

2.3. Izgradnja rešetke kod legura

b) Kristali mješanci

- Atomi osnovne rešetke
- Atomi dodatnog elementa

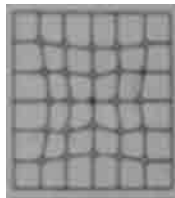
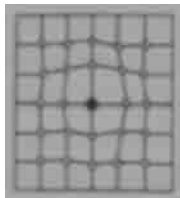


Supstitucijski mješanac

2.3. Izgradnja rešetke kod legura

b) Kristali mješanci

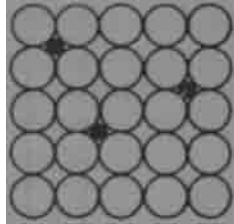
Izvitoperene rešetke



2.3. Izgradnja rešetke kod legura

b) Kristali mješanci

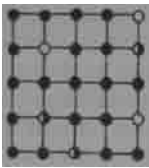
- Intersticijski mješanac
- ✓ Višestruki supstitucijski
- ✓ Intersticijski mješanci
- ✓ Pomiješani kruti intersticijski
- ✓ Supstitucijski kristali mješanci



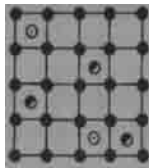
2.3. Izgradnja rešetke kod legura

b) Kristali mješanci

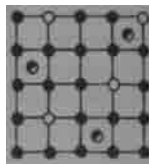
- Grada trojnog mješanca



Trojni supstitucijski mješanac



Trojni intersticijski mješanac

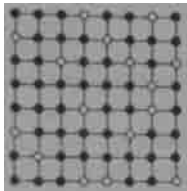


Trojni supstitucijski i intersticijski mješanac

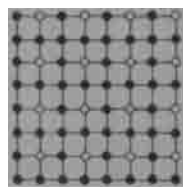
2.3. Izgradnja rešetke kod legura

b) Kristali mješanci

- Kristali s pravilnim i nepravilnim rasporedom atoma



pravilnim



nepravilnim

2.3. Izgradnja rešetke kod legura

b) Kristali intermetalnog spoja

Dva metala mogu se spojiti u kemijski spoj.

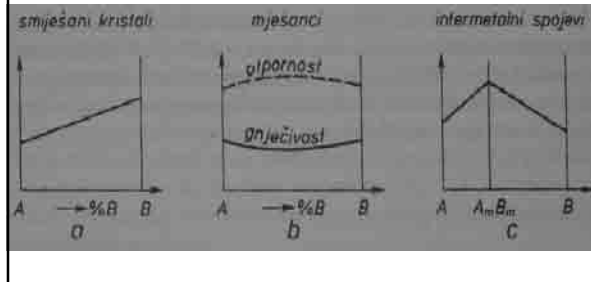
Tvore zajedničku rešetku, ali različitu od rešetke sastavnih elemenata.

Intermetalni spojevi:

- Metalidi ili
- Intermedijarne faze

2.3. Izgradnja rešetke kod legura

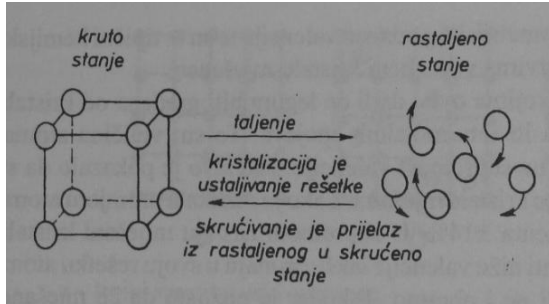
- Utjecaj kristalnih oblika na opća svojstva legura



2.4. Kristalizacija

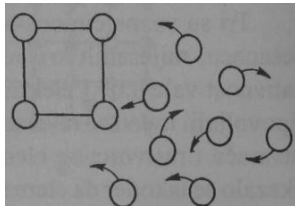
- Tvari u prirodi nalaze se u
 - Krutom
 - Tekućem
 - Plinovitom

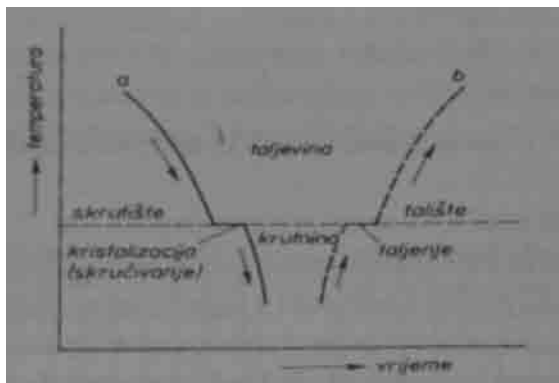
2.4. Kristalizacija



2.4. Kristalizacija

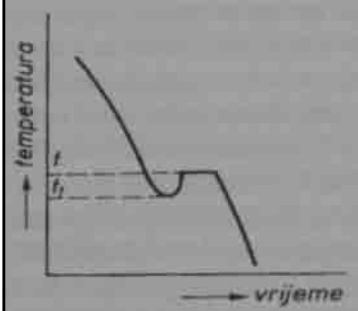
- Ustaljivanje atoma u rešetkastom rasporedu





Krivulja kristalizacije i taljenja dvaju elemenata

2.4. Kristalizacija



- Heterogena kristalizacija
- t - skrućište
- t_1 - pojave klice kristalizacije

Klice kristalizacije nečistoće ili primjese

2.4. Kristalizacija

- Tok kristalizacije



2.4. Kristalizacija

- Karakteristična je krivulja hlađenja i grijanja čistog željeza koje ima:
 - Dvije vrste rešetki
 - Četiri zastoja

2.4. Kristalizacija

Nakon skrućivanja 1535°C

- Prostorno centrirana kubna rešetka, δ -željezo

Nakon 1391°C

- Plošno centrirana kubna rešetka, γ -željezo

Nakon 898°C

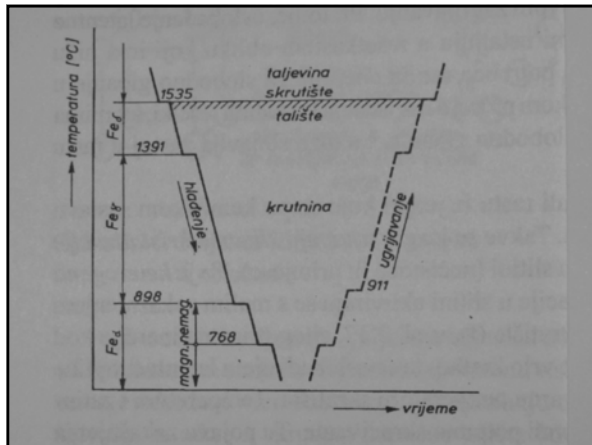
- Prostorno centrirana kubna rešetka, α -željezo

Od 898°C do 768°C

- Prostorno centrirana kubna rešetka, β -željezo, nije magnetično

ispod 768°C

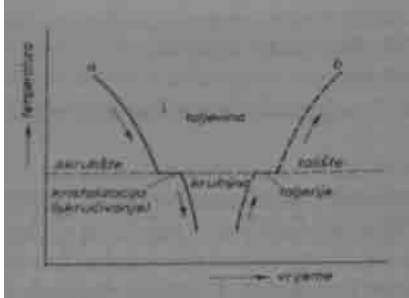
- Prostorno centrirana kubna rešetka, α -željezo, magnetično



2.4. Kristalizacija

- Kod legura gdje se uz atome osnovnog materijala nalaze i atomi legiranog metala s drugačijom temperaturom tališta i skrućišta, pojavljuje se temperaturni interval u kojem se postupno odvija proces alotropske modifikacije zbog postupnog oslobađanja latentne topline.

2.4. Kristalizacija

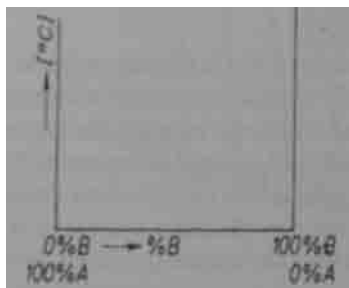


- Krivulja kristalizacije (a) i taljenja (b) legure

2.5. Dijagrami slijevanja

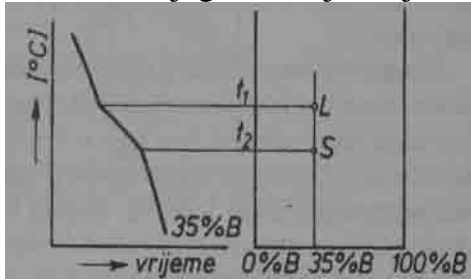
- Legura metala sastoji se najmanje od dva kemijska elementa, koja pri hlađenju stvaraju kristale mješanaca, smiješane kristale ili kristale intermetalnih spojeva

2.5. Dijagrami slijevanja



Koodinantni sustav

2.5. Dijagrami slijevanja

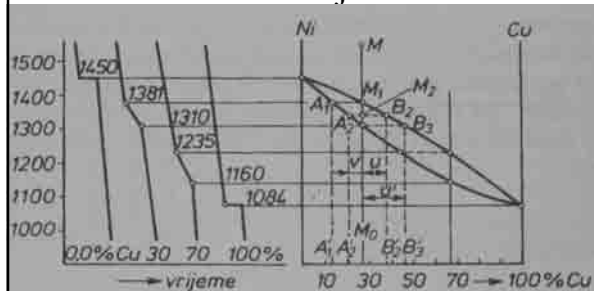


Nastanak dijagrama slijevanja

2.5.1. Sustav potpune rastvorljivosti u rastaljenom i krutom stanju

- Dijagram slijevanja Ni-Cu predstavlja uzorak potpune rastvorljivosti u krutom i rastaljenom stanju.
 - Kristali mješanci s istom rešetkom kod bilo koje koncentracije
 - Približno jednak promjer atoma

Sustav Ni-Cu s krivuljama hlađenja



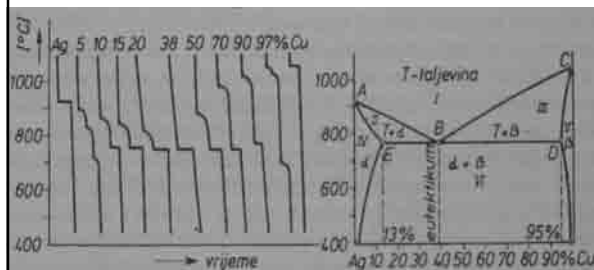
2.5.1. Sustav potpune rastvorljivosti u rastaljenom i djelomične rastvorivosti u krutom stanju

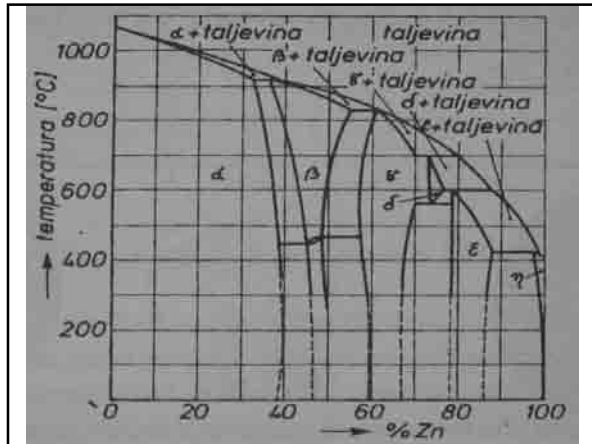
- **Komponente imaju**
 - Različite kristalne rešetke
 - Rešetke istog tipa ali velike razlike u parametru atoma
- **Smjesa kristala mješanaca**
 - Rastvorljivost ograničena
 - Razlike skrućivanja:
 - Eutektičkom sustavu
 - Peritektičkom sustavu

2.5.2.1. Eutektički sustav

- Komponente imaju bliska tališta
- Primjer: sustav Ag-Cu
- Ag - mješanci s rešetkom elementa α
- Cu - mješanci s rešetkom elementa β

Susta Ag-Cu



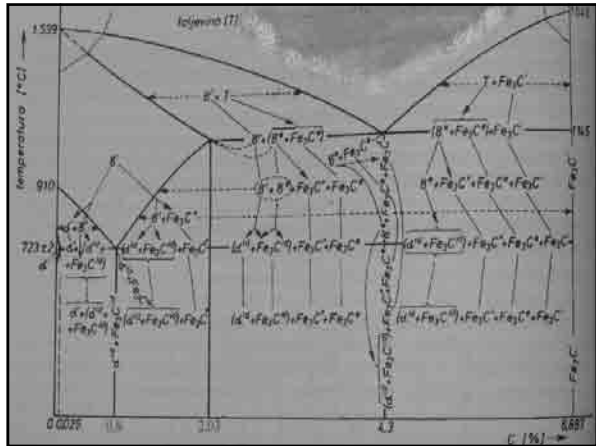


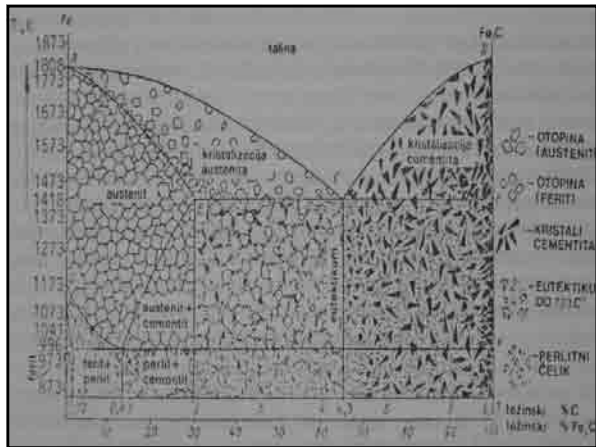
2.5.3. Analiza dijagrama željezo-ugljik

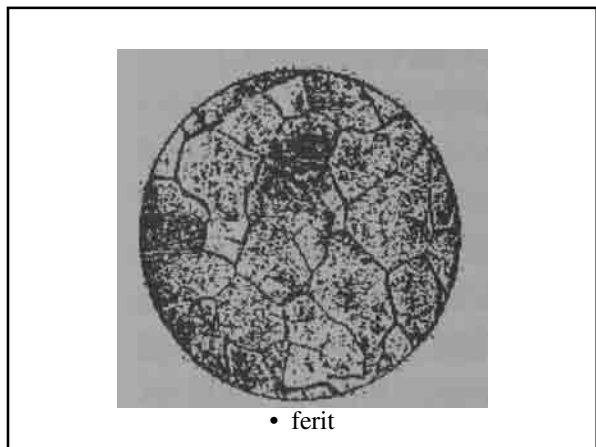
- Najvažniji u tehničkoj praksi
- Konstruiran na osnovi niza krivulja temperatura- udio ugljika
- Temperaturni interval 600^oC - 1539^oC
- Područje koncentracije 0,00% C – 6,687 % C

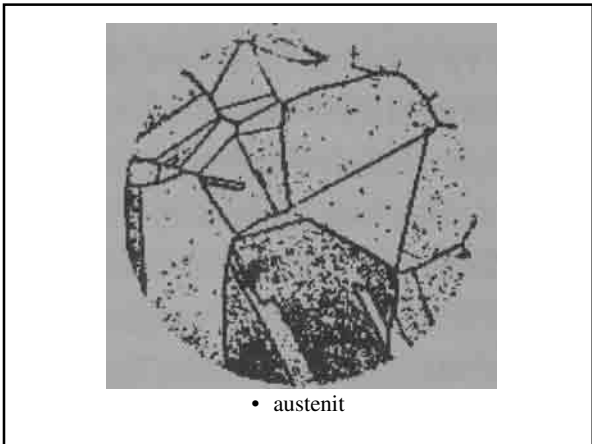
2.5.3. Analiza dijagrama željezo-ugljik

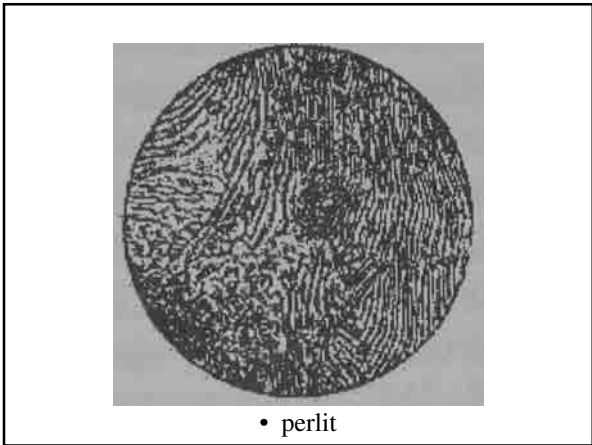
T	Taljevina	Fe_3C'	Primarni cementit
γ'	Primarni austenit	Fe_3C^e	Eutektički cementit
γ^e	Eutektički austenit	Fe_3C''	Sekundarni cementit
α'	Primarni ferit	Fe_3C^{id}	Eutektoidni cementit
α^{id}	Eutektoidni ferit	$\gamma^e + Fe_3C^e$	Eutektikum
$\alpha^{id} + Fe_3C^{id}$	Eutektoid		
Koriste se i sljedeći nazivi faza stanja			
$\gamma + Fe_3C^e$	Primarni ledeburit	$\alpha^{id} + Fe_3C^{id}$	Perlit, sorbit, trostit, banit (ovisi o stupnju pothlađenja)
$\gamma + Fe_3C'' + Fe_3C^e$	Sekundarni ledeburit		











2.5.3. Analiza dijagrama željezo-ugljik

1. Područje koncentracije do 0,8 %C
2. Koncentracija ugljika 0,8 %C
3. Nadeutekoidno područje (od 0,8 do 2 %C)
4. Podeutekoidno područje (2 do 4,3 %C)
5. Eutekoidna koncentracija 4,3 %C
6. Nadeutekoidno područje (preko 4,3 %C)

3. Proizvodnja sirova željeza

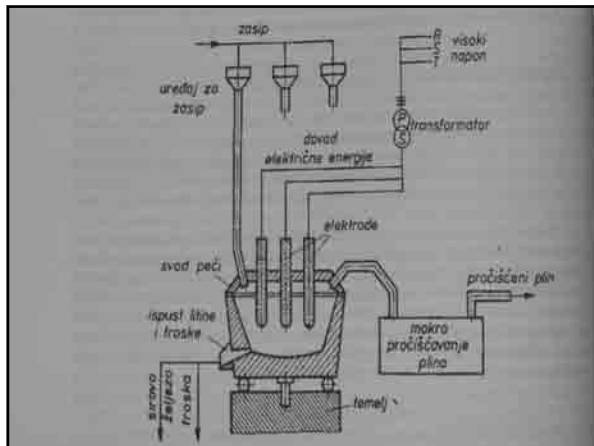
- Kemijski čisto željezo je srebrnobijele boje, metalnog sjaja i kao takvo u tehnici se ne upotrebljava
- U prirodi su rede izmiješane s jalovinom.
- Ruda željeza je različita sastava, ali se može svrstati na koristan udio, pratioce i jalovinu.

3.1. Priprema rude

- Ruda se iz rudnika dobiva različite gustoće, vlažnosti i u različitim komadima, od velikih pa do prašine.
- Zbog transportnih, energetskih troškova odstranjuje se jalovina a zatim se suši.
- Željezna ruda se prži u pećima, izdvaja se vlaga, ugljična kiselina i sumpor.

3.2. Elektro peći

- Kada nema dovoljno kvalitetnog koksa, a raspolažemo s viškom el. energije, ruda se tali u elektropečima.
- Prva peć, Švedska i bila je slična visokoj peći. Snaga 6,5 MW.
- Redukcija – drveni ugljen
- 1928 Norveška, peć tip Tisland-Hole
- Redukcija – koks.



3.21. Način rada elektrodukcije peći

- Snaga 1,8-3,5 MW
- Kapacitet i do 300 t/danu
- Temperatura peći 1500°C
- Redukcija se odvija izravno s ugljikom

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \longrightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}$$
- Potrošnja energije 2 MW/toni željeza
- Plinovi iz peći imaju visoku ogrjevnu vrijednost zbog nepotpunog izgaranja redukcijskog sredstva

3.3. Proizvodi metalurških peći

- Glavni proizvodi:
 - Sivo
 - Bijelo sirovo željezo
- Sporedni proizvodi:
 - Grotleni plin
 - Troska

Sirovo željezo

- Vrlo krhko i lomljivo
- Ne može se oblikovati u hladnom ni u vrućem stanju
- Pri ugrijavanju prelazi u tekuće stanje a da mu se ne popravlja gnječivost.
 - Zbog heterogenosti strukture i slabih mehaničkih svojstava gotovo je neupotrebljiv

Sirovo željezo

- Bijelo sirovo željezo tvrđe je od sivog
- Pretežno se koristi za proizvodnju čelika

- Sivo sirovo željezo ne posjeduje veću sposobnost za deformaciju od bijelog
- Upotrebljava se za proizvodnju sivog lijeva

4. Proizvodnja i vrste čelika

4.1. Proizvodnja čelika

- Za razliku od sirova željeza, čelik ima povoljna mehanička svojstva
- Oksidacija nije direktna već se prije oksidira željezo FeO a zatim željezni oksid reducira a pratiocima Si, Mn:
 - $\text{Si} + 2\text{Fe} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$
 - $\text{Mn} + \text{FeO} \rightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$

4.1. Proizvodnja čelika

- Ugljik se veže s kisikom – plin
- Fosfor oksidira – troska
- Sumpor – ispušta litine iz peći NaCO_3
- Proces dezoksidacije:
 - » $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$
 - » $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$
- Nakon dezoksidacije čeliku se dodaju legirajući elementi i po potrebi regulira sadržaj ugljika
- Od sirovog željeza dobiva se čalik s manje od 2,03% C

4.1. Proizvodnja čelika

- Pretežno se koriste elektropeći.
- Tim postupkom dobivamo elektročelike.
- Vrlo su skuplji i kvalitetniji od konverterskih i martenskih čelika.
- Velika čvrstoća, mali udio sumpora i fosfora (ispod 0,02%).
- Izvor topline, čist, isključeno onečišćenje čelika.

4.2. Vrste čelika

Čelici se razlikuju prema:

1. Mikrostrukturi
2. Namjeni
3. Kemijskom sastavu

4.2.1. Čelici prema mikrostrukturi

- a) Feritni,
- b) Perlitni ili eutektoidni
- c) Austenitni
- d) Martenzitni

a) Feritni

Taljevini se dodaju Al, Si, P, Ti, V, Cr, W, Mo radi proširenja feritnog područja. Nisu pogodni za termičku obradu (žarenje, kaljenje) Zagrijavanjem su krupnozrnati, usitnjavaju se prekivanjem

b) Perlitni ili eutektoidni

- Imaju 0,8%C
- Sitnozrnata struktura
- Vrlo dobra mehanička svojstva

c) Austenitni

- Taljevini čelika dodaju se Mn, Co, Ni
- Proširenje γ područja ispod 0°C
- Nemogućnost daljnje termičke obrade difuzijom C
 - Nisu magnetični
 - Nisko istezanje
 - Velika rastezljivost
 - Visoka žilavost
 - Otporni na trošenje

Primjena (čeljusti bagera)

d) Martenzitni

Glavna osobina:

- Pri kaljenju dovoljna je brzina zraka da se dobije martenzitna struktura koja se odlikuje velikom tvrdoćom.

4.2.2. Čelici prema namjeni

1. Konstrukcijski čelici
 - Garantirani kemijski sustav
 - Ugljične
 - Legirane
 - Niskolegirani (manje od 5% legirajućih elemenata)
 - Visokolegirani (više od 5% legirajućih elemenata)
 - Negarantirani kemijski sustav
2. Alatni čelici
 - Ugljični (do 2,03%C)
 - Legirani (pretežno Wolfram s C stvara karbide)
3. Specijalni legirani čelici
 - Nerđajući, vatroporni, otporni na trošenje (jedan element najutjecajniji)

4.2.3. Čelici prema kemijskom sastavu

- Prema kemijskom sastavu mogu biti:
 - Ugljični
 - Legirani
- Ugljični čelici:
 - Konstrukcijski
 - Alatni

4.2.3.1. Konstrukcijski čelici

- Legirajući element ugljik C
- U prosjeku 0,05% do 0,6%C, rjeđe 0,9%C
- Vlačna čvrstoća 28-50 N/mm²
- Oznaka Č.0000 i dalje

4.2.3.2. Specijalni konstrukcijski čelici

Najčešće se susreće:

- a) Čelici za valjne ležajeve legirani s Cr, Mn, i Si
- b) Čelici otporni na trošenje, manganovi čelici
 - Č.3160 s 12,5%Mn i 1,2%C
- c) Nerđajući, kemijski postojani 13-18%Cr
- d) Vatrootporni, legirani Cr, Mo Č.4970, Č.4579
- e) Čelici za opruge, 1,4-1,8%Si
- f) Čelici za nitriranje, Č.4739, vrlo malo ugljika

4.2.3.3. Čelici za cementiranje

- Od čelika za cementiranje zahtjeva se vrlo tvrda površina i žilava jezgra, što se postiže obogaćivanjem površine ugljikom, a zatim kaljenjem i žarenjem.

4.2.3.54. Čelici za poboljšavanje

- Zbog većeg sadržaja ugljika i adekvatne termičke obrade, ovi čelici su pogodni za izradu dijelova izloženih većim statičkim i dinamičkim opterećenjima.

4.2.3.5. Alatni čelici

- Ugljični sadrže 2,03%C i maksimalno 0,3%(Si+Mn). Obraduje se kovanjem, kaljenjem i popuštanjem.
- Legirani alatni čelici dijele se prema namjeni:
 - Čelike za rad u hladnom stanju
 - Čelike za rad u toplom i hladnom stanju
 - Čelike za obradu skidanjem čestica.

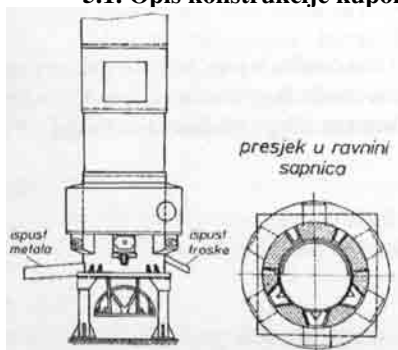
4.3. Označavanje vrsta čelika prema HRN standardima

- Standardom HRN C.BO.002 propisano je označavanje vrsta čelika.

4.3.1. Oznake slovnim i brojčanim simbolima

Označavanje čelika prema C. BO. 002													
Oznaka materijala (slovni simbol) C. XXXX. X													
Oznaka vrste (osnovna oznaka)													
Oznaka stanja (dopunska oznaka)													
Legirajući elementi	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	Ti	Cu	Al	ostali
% više od	—	0,60	0,80	0,20	0,30	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	—
Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9	9	9
Faktor vrijednosti	—	1	1	4	4	7	14	17	20	30	1	1	30

5.1. Opis konstrukcije kupole peći

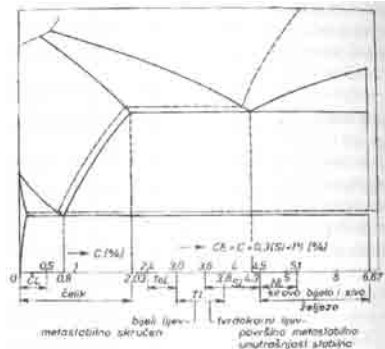


5.2. Lijevoivi na bazi željeza

Lijevoivi na bazi željeza su:

- Čelični lijev ČL
- Sivi lijev SL
- Kovkasti ili temper lijev KL ili TeL
- Tvrdi lijev TL
- Žilavi ili nodularni lijev ŽL ili NL

5.2.1. Sivi lijev



5.2.2. Tvrđi lijev

5.2.3. Kovkasti ili temper lijev

5.2.4. Źilavi ili nodularni lijev

5.2.5. Čelični lijev

6. Osnove toplinske obrade

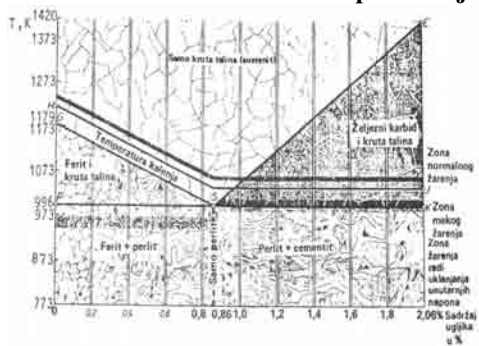
- Toplinska obrada predstavlja slijed ugrijavanja i hlađenja obratka u krutom stanju da bi se poboljšala mehanička svojstva.

6.1. Osnovna podjela operacije toplinske obrade

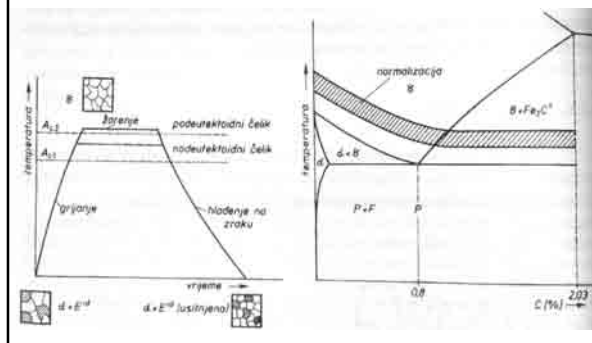
6.1.1. Postupci žarenja

- a) Normalizacijsko žarenje
- b) Rekristalizacijsko žarenje
- c) Sferoidizacijsko ili meko žarenje
- d) Žarenje za redukciju unutarnjih napetosti
- e) Popuštanje
- f) Pобољшanje

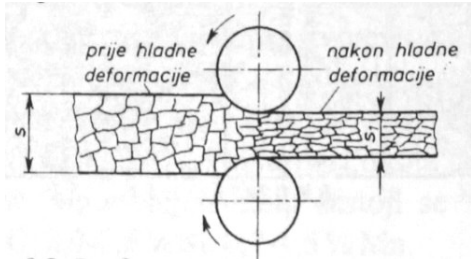
6.1.1. Postupci žarenja



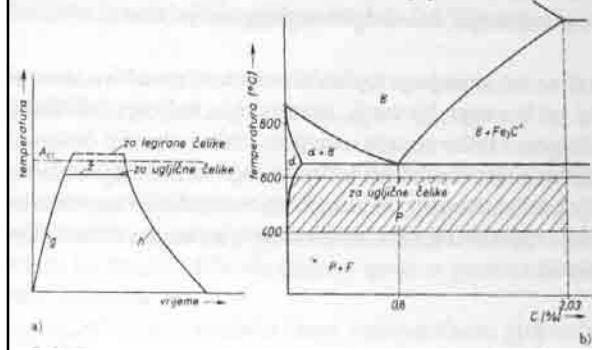
a) Normalizacijsko žarenje



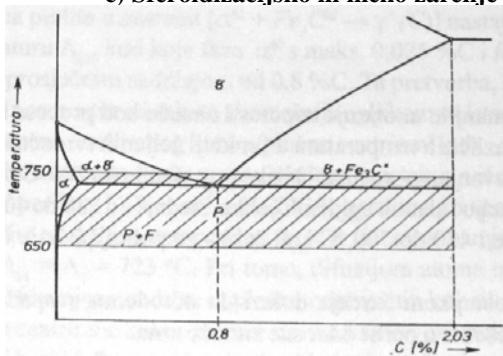
b) Rekristalizacijsko žarenje



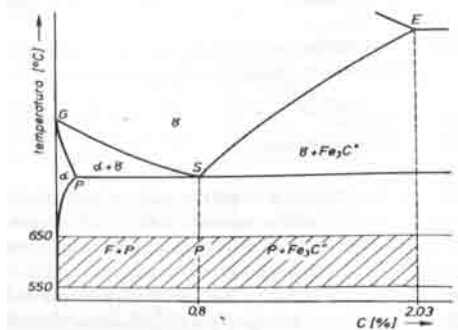
b) Rekristalizacijsko žarenje



c) Sferoidizacijsko ili meko žarenje



d) Žarenje za redukciju unutarnjih napetosti



e) Popuštanje

- Nisko popuštanje 200°C, čelici za cementiranje i alatnih C čelika
- Srednje popuštanje 280-400°C, opružni čelici
- Visoko 450-700°C, čelici za poboljšavanje i alatni legirani čelici

f) Poboljšanje

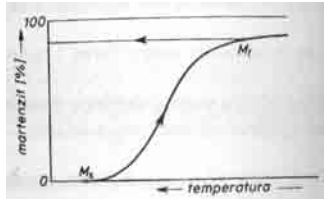
- Ovaj postupak sastoji se iz zagrijavanja zakaljenog čelika do temperature ispod A_{c1} da bi se potpuno raspala martenzitna struktura u sitna zrna.
- Ovim postupkom podvrgavaju se dinamički vijci izrađeni iz nelegiranih i legiranih konstrukcijskih čelika sa sadržajem ugljika od 0,3,0,6%, te opružni čelici.

6.1.2. Kaljenje čelika

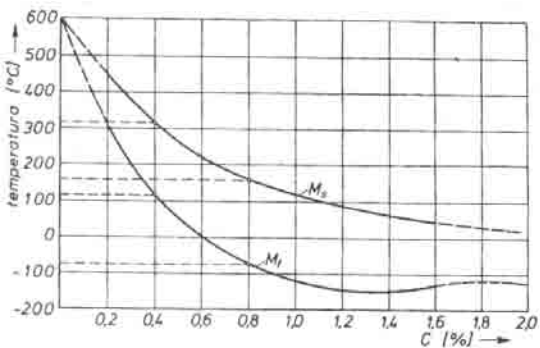
- Kaljenje u cilju dobivanja veoma tvrde nestabilne strukture martenzita sastoji se od ugrijavanja čelika do temperature austenizacije i od naglog hlađenja (gašenja) radi sprječavanja difuzije otopljenog ugljika i stvaranja jako izvitoperene prostorno centrirane α rešetke tetragonskog tipa čije se mikronapetosti i poremećaji kliznih pravaca očituju porastom tvrdoće.

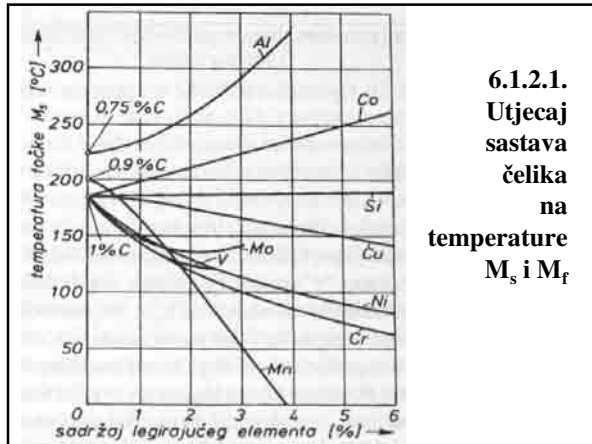
6.1.2.1. Utjecaj sastava čelika na temperature M_s i M_f

Čelik s 0,3%C	Čelik s 1,17%C
$M_s=350^\circ\text{C}$	$M_s=350^\circ\text{C}$
$M_f=350^\circ\text{C}$	$M_f=350^\circ\text{C}$
Zaostali austenit	Zaostali austenit
$0^\circ\text{C}=2-3\%$	kod 0°C oko 20%
	kod 140°C oko 10%

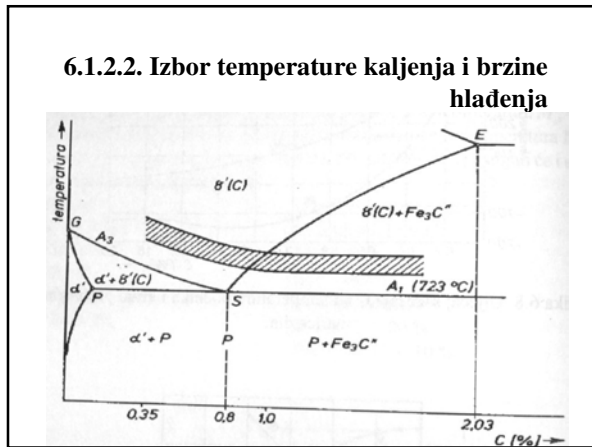


6.1.2.1. Utjecaj sastava čelika na temperature M_s i M_f

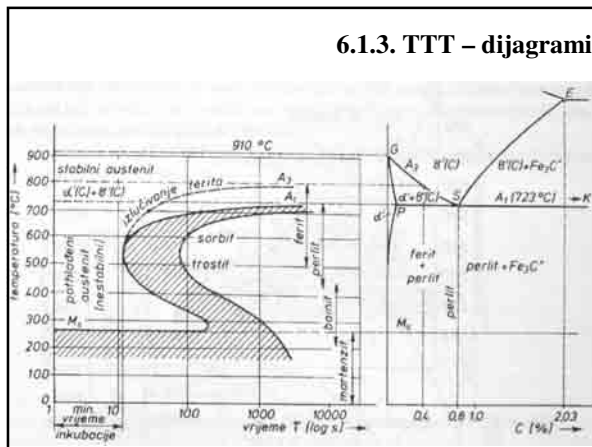




6.1.2.1. Utjecaj sastava čelika na temperature M_s i M_f

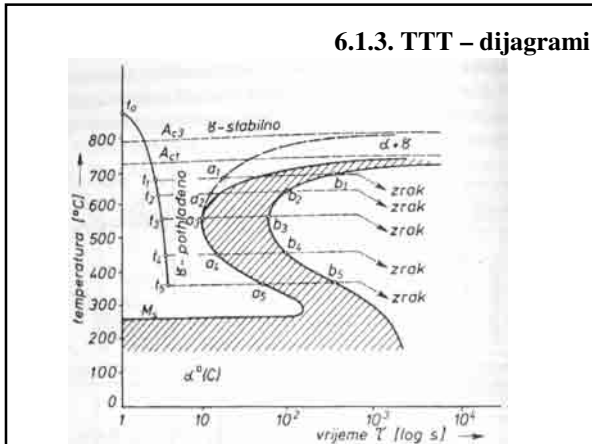


6.1.2.2. Izbor temperature kaljenja i brzine hlađenja

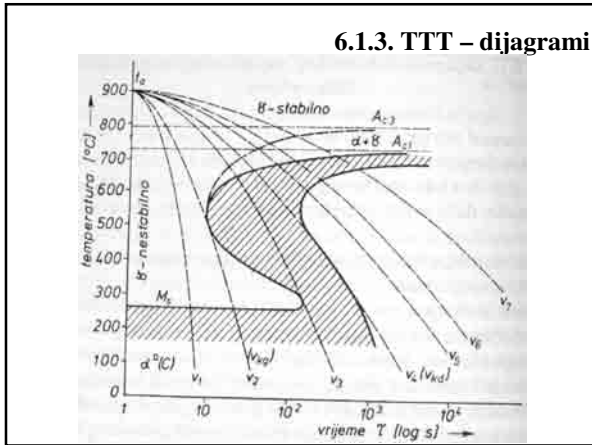


6.1.3. TTT – dijagrami

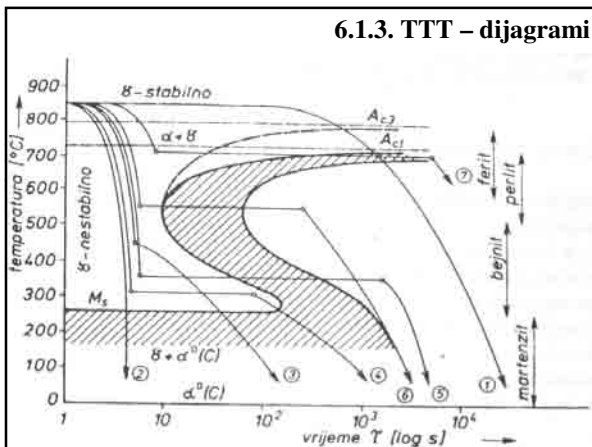
6.1.3. TTT – dijagrami



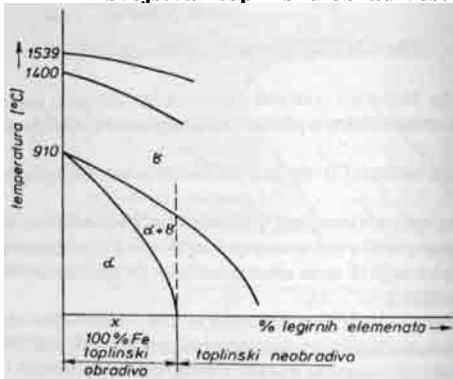
6.1.3. TTT – dijagrami



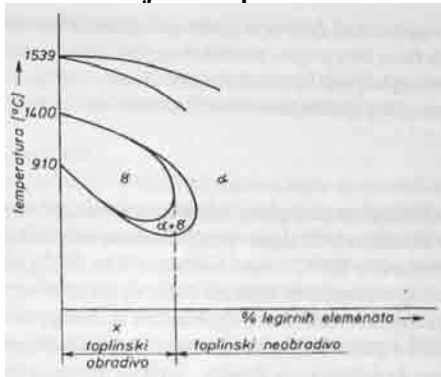
6.1.3. TTT – dijagrami



6.1.4. Utjecaj legirajućih elemenata na svojstva i toplinsku obradivost čelika



6.1.4. Utjecaj legirajućih elemenata na svojstva i toplinsku obradivost čelika



6.1.5. Termodifuzijske obrade

- a) Cementiranje
- b) Nitiranje
- c) Karbonitriranje
- d) Sulfonitriranje
- e) Boriranje

6.1.6. Površinsko kaljenje

Tvrdoća 580-1100 N/mm²

- Indukcijsko kaljenje
- Kaljenje površinskog sloja plamenom

7. Obojeni metali i njihove legure

- Ova potonja skupina dijeli se nadaljena :
- teške obojene metale (Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Sn i sl.)
- Lake obojene metale čija gustoća prelazi 3,8 kg/dm³ (Al, Mg, Li, Be) i
- Plemenite obojene metale (zlato, platina, srebro, iridij, paladij i sl.).

7.1.1. Bakar (Cu)

- Crvene je boje izraženog metalnog sjaja, gustoće 8,94 kg/dm³, tališta 1084 °C i vrelišta 2310 °C.
- Ima čvrstoću 14-19 N/mm², a valjani 20-28 N/mm².
- Nagrizaju ga kloridi i ugljična kiselina otopljena u vodi.
- Vrlo dobro se legira s drugim elementima.

7.1.2. Cink (Zn)

- Ima plavkastobijeli izgled, gustoću 6,9-7,15 kg/dm³, talište 419,4 °C i vrelište 907 °C.
- Pri sobnoj temperaturi je dosta krhak i lomljiv.
- Pod utjecajem atmosfere prevlači se brzo bazičnim karbonatom koji ga štiti od daljnje korozije. Upotrebljava se za pocinčavanje drugih metala.
- Lako se otapa u kiselinama, a teže u lužinama.
- Sloj cinka nanosi se umakanjem, štrcanjem i elektrolitički.

7.1.3. Olovo (Pb)

- Plavkastobijele je boje s izrazito metalnim sjajem.
- Male je čvrstoće. Gustoća mu je 11,3 kg/dm³, a talište mu je kod 327 °C.
- Slab je vodič topline i elektriciteta.
- Na zraku se prevlači oksidnom kožicom.
- Uspješno se legira zlatom, srebrom, kosirom i bizmutom.
- Upotrebljava se za izradu ležajnih legura, olovnih limova, cijevi, obloge za zaštitu kablova, z krovove, el. Akumulatore i sl.

7.1.4. Kositar (Sn)

- Srebrnastobijele je boje.
- Vrlo je mekan, ima gustoću 7,3 kg/dm³, talište kod 232 °C, a vrelište kod 236 °C. Čvrstoća mu je malena.
- Lako se razvlači do najfinijih folija.
- Upotrebljava se za kositrenje limenki za hranu, žlice, za izradu legura za ležajeve i lemljenje, za izradu staniola, u radio-tehnici i sl.

7.2. Ostali teški metali

7.2.1. Nikal (Ni)

- Svojstva: sivobijele je boje za žućkastim sjajem, gustoće $8,8 \text{ kg/dm}^3$, tališe kod $1452 \text{ }^\circ\text{C}$, dobro se valja i razvlači, otporan je na koroziju, slab je vodič topline i elektriciteta. Iznad 350°C je nemagnetičan.
- Upotreba: za legiranje, za medicinske instrumente i u galvanotehnici.

7.2.2. Krom (Cr)

- Svojstva: srebrnobijele je boje plavkastog sjaja, gustoća $7,14 \text{ kg/dm}^3$, talište kod $1800 \text{ }^\circ\text{C}$. Vrlo je krhak i tvrd, otporan je prema oksidaciji.
- Upotreba: za legure, legiranje i galvanizaciju.

7.2.3. Mangan (Mn)

- Svojstva: srebrnastobijele je boje s crvenkastim sjajem. Vrlo je krhak. Gustoća: $7,42 \text{ kg/dm}^3$, a talište kod $1240 \text{ }^\circ\text{C}$. Otporan je na koroziju.
- Upotreba: kao legirajući element i dezoksidans.

7.2.4. Kobalt (Co)

Svojstva:

- crvenkastobijele boje
- Gustoća $8,8 \text{ kg/dm}^3$
- Talište kod 1472°C
- Otporan prema koroziji

Upotreba:

- Legirajući element za brzorezne čelike
- Čelik za stalne magnete

7.2.5. Molibden (Mo)

- Svojstva: srebrnastobijele je boje, gustoće $10,2 \text{ kg/dm}^3$, talište kod $2500 \text{ }^\circ\text{C}$. Dade se kovati i izvlačiti u tanke žice.
- Upotreba: kao legirni element za brzorezne čelike i legure na bazi Ni, Cr i Co.

7.2.6 Volfram

- Svojstva: srebrnastobijele je boje, gustoće 19,6 kg/dm³, talište kod 3370 °C. Otporan je na visoke temperature.
- Upotreba: za niti žarulja, elektrode TIG aparata za zavarivanje, i kao legirajući element za brzorezne i vatrootporne čelike i sl.

7.2.7. Vanadij (V)

- Svojstva: svjetlosive boje srebrnastog sjaja, gustoće 6,02 kg/dm³, talište kod 1800 °C. Otporan je prema koroziji.
- Upotreba: za legiranje specijalnih vatrootpornih alatnih čelika sa Cr i Ni, za izradu permanentnih magneta, opruga i sl.

7.3. Laki obojeni metali

- Za gradnju plovnih objekata najčešće se iz ove skupine upotrebljavaju:

Metal	Simbol	Gustoća	Talište ° C	Vrelište ° C
aluminij	Al	2.7	658	2270
magnezij	Mg	1.74	650	1107

7.3.1. Aluminij

- Ima relativno malu vlačnu čvrstoću i tvrdoću. Nije pogodan za lijevanje, zavarivanje i lemljenje.
- Otporan je prema koroziji. Nagrizaju ga solna kiselina i lužine.
- Iznad 600 °C postaje krupnozrnat i krhak. Dobro vodi el.struju i toplinu.
- Upotreba: za legure aluminija, kao legirajući element, u brodogradnji, građevinarstvu, strojogradnji, rehrambeno i kemijskoj industriji, za izradu folija i sl.

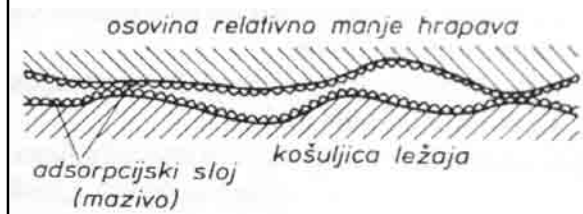
7.3.2. Magnezij

- Svojstva: vlačna čvrstoća 10,7-12,4 N/mm². Valjan i tlačen je čvršći. Pri izgaranju razvija vrlo jaku svjetlost.
- Upotreba: kao legirajući element za limove otporne na morsku vodu i kao dezoksidans, u pirotehnici i za vrlo lagane legure.

7.4. Legure na bazi obojenih metala

- Legure na bazi bakra
- Legure na bazi nikla
- Legure na bazi aluminija
- Magnezijske legure
- Legure olova, kositra i cinka
- Ležajne legure

7.4.6. Ležajne legure



Analiza gledana s muške strane :

- Trošak muškarca : 50 € ☺
- Trošak žene : 650 € ☹

Analiza poslovne žene :

- Trošak muškarca po minuti : 4,16 € ☹
- Trošak žene po minuti : 3,26 € ☺

Zaključak :

1. Da je žena trošila novce na način kako je to činio muškarac, potrošila bi 829 € u istom vremenu .
2. Zato što je tim pristupom uštedila mnogo novaca žena si može za razliku od 179 € kupiti još i par lijepih cipela ...

8. Korozija i zaštita materijala

8.1. Općenito o koroziji metala

- Proces razaranja konstrukcijskih metala podvrgnutih djelovanju fizikalno-kemijskih procesa

Glavni uzročnici korozijskog procesa

- ✓ Atmosferski uzročnici
 - ✓ vlaga, snijeg, magla morske atmosfere, kemijski plinovi, ostali sastojci zraka.
- ✓ Ispušni plinovi i čestice iz SUI motora
 - ✓ Bromovodična kiselina, olovni halogenidi, ugljične kiseline, sulfite kiseline, ...
- ✓ Npropisna termička obrada aluminijevih dijelova
- ✓ Nedovoljna i npropisna zaštita premazima
- ✓ Nedovoljno i npropisno čišćenje metalnih dijelova
- ✓ Primjena vode za pranje nedozvoljenom količinom klorida
- ✓ Galvanski proces zbog različitih metala
- ✓ Otpaci hrane

Glavni uzročnici korozijskog procesa

- Prema mehanizmu djelovanja, uzročnici korozije mogu biti sljedeći uzročnici:
 - Fizikalni
 - Kemijski
 - Elektrokemijski
 - Biološki
 - Kompleksni

- *Fizikalni uzročnici* korozije su temperatura, svjetlost te mehanička djelovanja
- *Kemijski uzročnici* korozije su kisik iz zraka, vlaga, kiseline, alkalije, soli i drugi kemijski agensi koji mogu doći u kontakt s materijalom.
- *Elektrokemijski uzročnici* su svi kemijski uzročnici kod kojih dolaze do nastajanja galvanskih mikroelemenata u prisutnosti vodenih otopina elektrolita.
- *Biološki uzročnici* korozije su mikroorganizmi, gljivice, plijesni, alge, insekti, glodavci itd.
- *Kompleksni uzročnici*, promjena klime, tla vode, radnih uvjeta itd.

Prema mehanizmu djelovanja korozija se dijeli:

- ✦ **Kemijska korozija,**
 - ✦ Nastaje zbog kemijskog afiniteta između materijala tehničkog sustava i okoline,
 - ✦ Nastaju kemijski spojevi, soli, oksidi, sulfidi itd.
 - ✦ Plinska korozija, zagrijavanje na visokim temp.
 - ✦ Pojava kod ventila i ispušnih cijevi motora
- **Elektrokemijska korozija**
 - ✦ Nastaje stvaranjem galvanskih mikroelemenata u prisutnosti vodenih otopina elektrolita

8.1.1. Kemijska korozija

Prvi oblik korozije:

- Nastaje u neelektrolitima
- Reakcijom tvari koja korodira i supstance u agresivnom mediju
- Stvaraju se kemijski spojevi
 - soli, oksidi, sulfidi itd.
- Plinska korozija, plinovi na visokim temperaturama

8.1.1. Kemijska korozija

Drugi oblik korozije:

- Nastaje u tekućim neelektrolitima
 - Nafta, benzin, aceton, bezvodni alkohol itd.
- Razaranje metala u nafti ovisi o
 - Otopljenim spojevima sumpora. Otopljeni sumporovodik nagriza čelik, (ČL), obojene metale (Pb, Sb, Cu, Ag)

8.1.1. Kemijska korozija

- Prepoznaje se po vanjskoj promjeni izgleda
- Pojavi opne na površini metala
- Pod djelovanjem plinova:
 - Srebro, nikel i mjed ---- potamni,
 - Bakar ----- pozeleni ili posmeđi
- Porast debljine opne ovisi o difuziji agensa.
- S porastom debljine opne usporava proces.

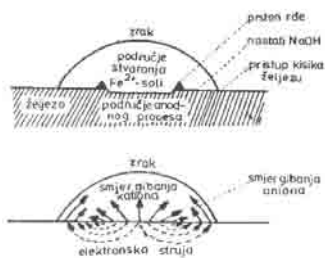
8.1.2. Elektrokemijska korozija

- Nastaje stvaranjem galvanskih mikroelemenata u prisutnosti vodenih otopina elektrolita.
- Elektroliti - vodene otopine koje provode električnu struju.
- Pritisak otapanja – atomi metala prelaze u otopinu.
- Razlika el. potencijala – metali ili legure u otopini tvore soli.

8.1.2. Elektrokemijska korozija

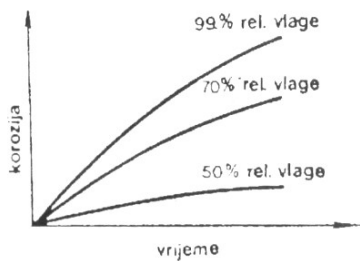
- Korozijsko djelovanje otopina elektrolita na metale i njihove legure objašnjava se težnjom metala da izdvoji atome u otopinu.
- Atom ostavlja u metalu jedan ili više svojih elektrona.
- Atom se pretvara u pozitivno nabijeni *ion* tj. *kation*.

8.1.2. Elektrokemijska korozija



Slika 8.1. Elektrokemijska korozija uzrokovana kapljicom vodene otopine kuhinjske soli kao elektrolita

8.1.2. Elektrokemijska korozija

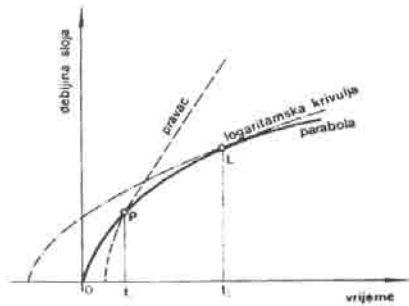


Slika 8.2. Utjecaj relativne vlage na intenzitet korozije željeza

8.1.2.1. Ostale vrste korozija

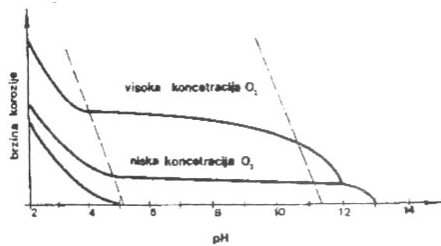
- Korozija u ovisnosti o agresivnom mediju:
 - Atmosferska - atmosferilije i aerzagadenja
 - Tlo - mineralne tvari
 - Voda – vodene otopine
- Korozija u eksploatacijskim uvjetima:
 - Mehanička naprezanja, vibracije, zamor
 - Lutajuće struje
- Korozija prema načinu pojave:
 - Površinska
 - Lokalna
 - Točkasta
 - Interkristalna
 - Opća

8.1.3. Tok i intenzitet procesa korozije



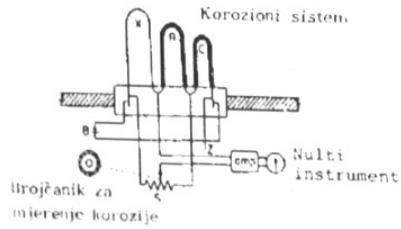
Slika 8.3. Intenziteti razvoja procesa korozije u funkciji vremena

8.1.3. Tok i intenzitet procesa korozije



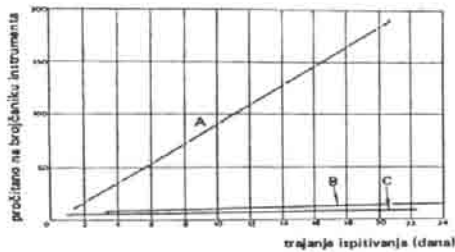
Slika 8.4. Intenzitet razvoja procesa korozije u odnosu na pH vrijednost elektrolita s različitim koncentracijama otopljenog kisika

8.1.3. Tok i intenzitet procesa korozije



Slika 8.5. Princip mjerenja intenziteta korodiranja mjerenjem promjene omskog otpora u funkciji vremena

8.1.3. Tok i intenzitet procesa korozije



Slika 8.6. Rezultati mjerenja intenziteta korodiranja na pojedinim uzorcima metala

8.2. Zaštita od korozije

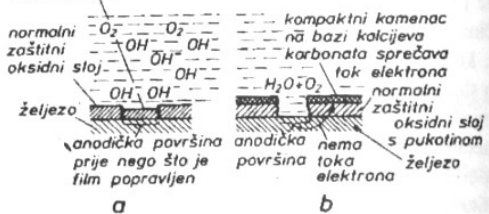
- Vršiti se odvajanjem metala od okoline
 - djelovanjem *inhibitora*
 - Presvlačenje materijalima otpornima na okolinu
- Postupke zaštite od korozije po načinu izvođenja:
 - Zaštita inhibitorima
 - Zaštitne prevlake (organske, anorganske i metalne)
 - Zaštita oplemenjivanjem
 - Elektrokemijska zaštita (katodna i anodna polarizacija)

8.2.1. Inhibiranje korozije

- To su supstance za smanjenje intenziteta odvijanja procesa korozije.
- Inhibitore dijelimo na:
 - Organske i anorganske
 - Topive i netopive
 - Alkalne i neutralne
 - Hlapljive i nehlapljive
- Po načinu djelovanja:
 - Anodne
 - Katodne

8.2.1. Inhibiranje korozije

pukotina u oksidnom filmu ispravljena u prisutnosti kisika i viška hidroksil-iona



Slika 8.7. a) Anodno inhibiranje željeza u alkalnim otopinama
b) Katodno inhibiranje željeza u neutralnim otopinama

8.2.2. Zaštitne prevlake

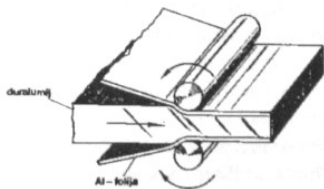
8.2.2.1. Priprema površine za nanošenje prevlaka

- Pripremom se odstranjuju nečistoće i to:
 - Hidrofobne (vodoodbojne) masnoće, boja, premazi
 - Hidrofilne (koje upijaju boju)
- Postupci pripreme površine materijala su:
 - Mehanički – struganje, četkanje, pjeskarenje itd.
 - Kemijski – nagrivanje
 - Odmašćivanje – organska, alkalna otapala, ultrazvuk

8.2.2.2. Zaštita metalnim prevlakama

- Vršiti se sljedećim tehnološkim postupcima:
 - Presvlačenje uranjanjem u rastopljeni metal
 - Difuzijska metalizacija
 - Metalizacija štrcanjem
 - Oblaganje
 - Galvanizacija

8.2.2.2. Zaštita metalnim prevlakama



Slika 8.8. Princip postupka platiniranja lima s plemenitim metalom

8.2.2.3. Anorganska nemetalne prevlake

- Prevlake se nanose kemijski i mehanički.
- Oksidne prevlake nanose se na:
 - Čelik, aluminij, bakar, cink
- *Pasiviziranje* - relativno tanki oksidni sloj
- *Bruniranje* – deblji oksidni sloj

8.2.2.3. Anorganska nemetalne prevlake

- *Fosfatna prevlaka* – zaštita čelika, cinka, aluminija.
- *Kromatne prevlake* – nanose se na cink, kadmij, magnezij, aluminij, bakar i njihove legure.
- *Emajliranje* – prevlačenje metala specijalnim vrstama stakla (emajl).
- *Ostale prevlake* – betonske, vodeno staklo, cink u prahu.

8.2.2.4. Organske prevlake

- Oblaganje gumom i termoplastičnim masama.
- Premazi na bazi celuloznih estera
 - Vezivo (celulozni ester)
 - Sintetička smola
 - Plastifikator (ulje)
 - Razrjeđivač
 - Boje (ako se ne radi o bezbojnom laku)

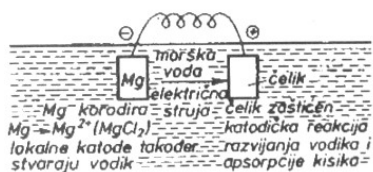
8.2.2.4. Organske prevlake

- Premazi na bazi umjetnih smola
 - Rezolni lakovi
 - Alkidalni lakovi
 - Karbamidni lakovi
 - Polivinilni lakovi
 - Polistirenski lakovi
 - Poliakrilni lakovi
 - Klorkaučukovi lakovi
 - Silikonski lakovi
 - Itd.

8.2.2.4. Organske prevlake

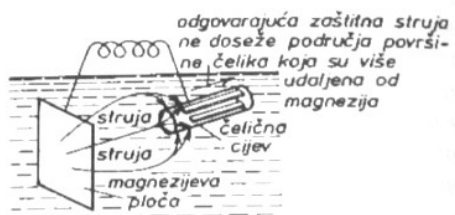
- Način nanošenja organskih prevlaka:
 - Premazivanje
 - Umakanje
 - Štrcanje
 - Elektrostatsko štrcanje
 - Nanošene valjcima
 - Nanošenje prelijevanjem

8.2.3. Katodna zaštita



Slika 8.9. Katodna zaštita čelika magnezijem ili cinkom u morskoj vodi

8.2.3. Katodna zaštita



Slika 8.10. Nepravilno izvedena katodna zaštita

9. Polimerni materijali

- Lavoisier – sredinom 1800. Godine - sumnja u mogućnost razgradnje organskih materijala zbog njihove velike složenosti
- Wohler – 30 g. nakon – sintetizirao ureu, te dokazao da se sintezom ugljičnih spojeva može sintetizirati organska tvar
- Goodyear – dodatkom sumpor prirodnom kaučuku mijenja stupnjeve njegove elastičnosti, Hyatt – stvorio celuloid tretiranjem celuloze s kiselinom

9. Polimerni materijali

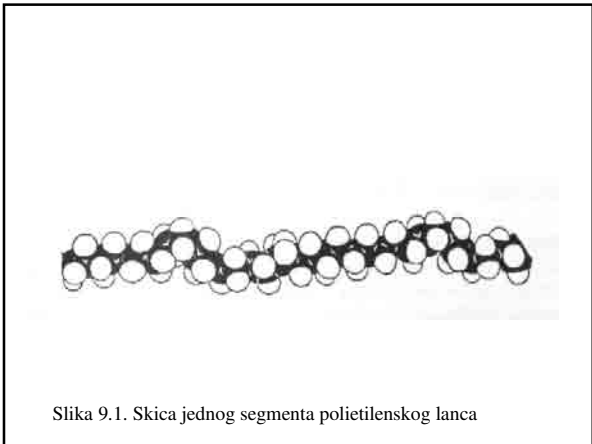
- Dolazi se do umjetno novostvorenih materijala iz sirovina koje je dala priroda, te dolazi do potpune modifikacije osobina upotrijebljenih sirovina.
- Počinje zamjena skupocjenih materijala (npr. bakelit tijekom prvog svjetskog rata)
- Daljnji razvoj organske kemije predstavlja daljnji razvoj postojećih i otkriće novih umjetnih materijala

9.2. Sastav plastičnih materijala

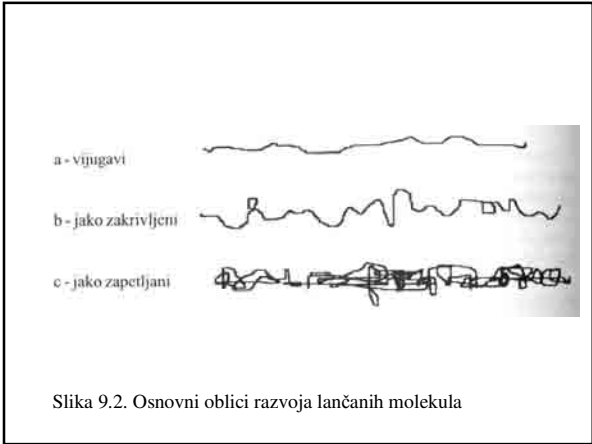
- Plastični materijali sastoje se iz makromolekularnih organskih veza koje su nastale sintetskih putem ili modifikacijom prirodnih materijala.
- Mikromolekule rijetko sadrže više od 200 atoma, dok makromolekule sadrže na desetke tisuće atoma.

- Monomer – model koji je nositelj osobine buduće makromolekule ili umjetne mase.
- Polimer – dobiva se višetisućnim ponavljanjem procesa međusobnog vezivanja tih osnovnih molekula.
- Proces dobivanja polimera iz monomera naziva se polimerizacija.

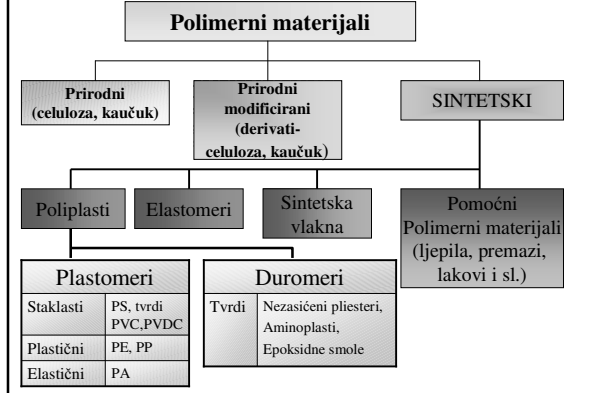
- Polikondenzacija – okrupnjevanje molekula procesom polimerizacije pri čemu se odcijepljeni ostaci molekula vežu u H_2O i nakon kondenzacije daju vodu.
- Termoplasti - mase s lančasto poredanim molekulama, karakteristično plastično stanje koje daje umjetnoj masi izrazitu osobinu oblikovanja



- Duroplasti – gusto umrežena umjetna masa koja je relativno toplinski otporna samo u okvirima organskih materija
- Elastoplast ili elastomer – treće stanje polimerne umjetne mase koje se očituje u osobini trajnog elasticiteta



9.3. Podjela i primjena polimernih materijala



9.4. Poliplasti

- Najveći dio proizvedenih polimera upotrebljava se kao konstrukcijski materijali i u obliku folija i nazivaju se poliplasti.
- Poliplasti su kod obične temperature kruti, ali mogu biti kristalasti ili amorfni.
- Osnovnoj polimernoj supstansi dodaju se različiti aditivi radi poboljšanja određenih svojstava i sniženja cijena proizvoda.

- Svojstva poliplasta mogu se modofocirati također kemijskim reakcijama, te različitim fizikalnim postupcima.
- Dodaci poliplastima su različita punila, ojačala, plastifikatori ili omekšivači, stabilizatori, pigmenti i bojila, sredstva za sprečavanje rasta mikroorganizama, maziva itd.

- Punila u kombinaciji s vezivima pridonose prvenstveno poboljšanju osnovnih mehaničkih svojstava plastike, smanjuju potrošnju energije i snižavaju cijenu proizvoda.
- Ojačala se dodaju u puno većoj količini nego punila radi bitnog povećanja čvrstoće polimernog proizvoda.

- Omekšivači ili plastifikatori dodaju se plastičnim masama prvenstveno radi lakše prerade i bolje fleksibilnosti proizvoda.
- Stabilizatori se dodaju polimernim masama radi povećanja otpornosti polimera na depolimerizaciju ili degradaciju, u toku prerade odnosno primjene, pod utjecajem UV- ili toplinskog zračenja u kombinaciji s utjecajem kisika i ozona.

- Antistatici se koriste radi smanjenja statičkog elektriciteta plastomera i time ublažavanja nepoželjnih posljedica nabijanja statičkim elektricitetom.
- Bojila i pigmenti koriste se za bojenje velikog broja polimera, tako da ih je oko 200 i komercijalnoj upotrebi.

- Najvažnije tehnike prerade plastičnih masa, tj. prevođenja u željeni oblik jesu:
 - ekstruzija (istiskivanje, protiskivanje)
 - ekstruzijsko ili injekcijsko ispuhivanje
 - ubrizgavanje u kalup
 - vakuum oblikovanje
 - rotacijsko lijevanje
 - plastificiranje fluidiziranim prahom
 - kalandriranje (valjanje)

9.4.1. Značajniji komercijalni poliplasti

9.4.1.1. Polietilen

- Sirovina monomera polietilena je plin etilen koji se s različitim tehnologijama proizvodi u velikim količinama.
- Njegova polimerizacija vrši se s različitim katalizatorima i pod različitim tlakovima da bi se dobili odgovarajući konačni produkti.
- Polietilen niske gustoće najčešće se prerađuje u filmove i folije za ručne vrećice, plastenike i sl.
- Polietilen visoke gustoće najčešće se koristi za proizvodnju ambalaže za kemikalije, posude za domaćinstva i industriju, te za proizvodnju cijevi.

9.4.1.2. Polipropilen

- Iz etilena zamjenom atoma vodika s metilnom grupom CH_3 , dobiva se red nezasićenih spojeva ugljikohidrata, na osnovu kojih se polimerizacijom sa stereospecifičnim katalizatorima dobiva visokokristalasti propilen.
- Pravilnost građe daje mu relativno visoko talište, a ugljikovodična struktura izuzetnu električnu i kemijsku otpornost, te otpornost na vlagu.

- Žilav i dimenzionalno stabilan materijal, visoko kristalan, manje otporan na utjecaj svjetla i oksidacijskih sredstava od PE.
- Primjenjuje se kao materijal za pakiranje u obliku boca, folija, zavarivača. Upotrebljavaju se za različite konstrukcijske elemente kao spremnike za kemikalije.

9.4.1.3. Polivinil-klorid

- Dobiva se polimerizacijom polivinilklorida koristeći peroksiden kao i neke druge katalizatore.
- Pretežno amorfan termoplast, postojan je na kiseline, lužine, atmosferilije, organska otapala i ulja. Ne upija vodu. Relativno je manje stabilan na utjecaje topline i svjetla.

- Kruti polivinil-klorid sadrži samo nekoliko % plastifikatora, a fleksibilan obično oko 30 %. Ovaj drugi se lakše prerađuje, ali je manje čvrst na rastezanje i slabije otporan na toplinu kao i na atmosferilije.
- Upotreba polivinil.klorida naročito je uobičajena u građevinarstvu uključivši i cestogradnju za hidroizolaciju, ia izradu ambalaža, proizvodnju skaja itd.

9.4.1.4. Poliviniliden-klorid

- Dobiva se iz dikloretana koji se sastoji iz vinilklorida i klora koji se polimerizira.
- Polivinil.klorid sam nema primjenu već samo pomiješan s polivinil-kloridom.
- Koristi se za izradu niti i traka, filtera, tkanina, folija za pakiranje hrane i prevlačenje papira.

9.4.1.5. Poliesterske smole

- Ove smole sastoje se iz nezasićenih ugljičnih kiselina i zasićenih dvovalentnih alkohola poput etilalkohola. Obje komponente počinju se umrežavati pod utjecajem peroksida kao katalizatora.
- Upotrebljavaju se kao konstrukcijski materijali za manje plovne objekte, u građevinarstvu, elektroindustriji, itd.

9.4.1.6. Epoksidne smole

- Epoksidne smole dobivaju se zamjenom epiklorhidrida s glicerinom ili bisfenolom i spadaju u skupinu duroplasta kod kojih se dodatkom katalizatora počinje proces umreženja.
- Posjeduju izrazita svojstva vezivanja, odlikuju se žilavošću, fleksibilnošću, visokom adhezijom i veoma velikom kemijskom otpornošću.

- Zasad se epoksidne smole šire upotrebljavaju u brodogradnji najčešće za zaštitno prevlačenje i lijepljenje, u elektrotehnici, zatim u izvedbi industrijskih podova kao vezivo za beton, kao stabilizatori vinilnih smola itd.

9.5. Kaučuk i guma

9.5.2. Prirodni kaučuk i njegovi derivati

- Prirodne kaučuk dobiva se iz stabljike drva kaučukovca kao lateks (mliječni sok). Izvanrednih je karakteristika savijanja i elastičnosti.
- Ima izuzetnu otpornost na brušenje, visoku otpornost na permanentnu deformaciju i dobru otpornost na deranje. Nije pogodan za većinu kemijskih modifikacija, izuzimajući proces vulkanizacije.

- Komercijalno značajniji kemijski derivati prirodnog kaučuka su tvrdi kaučuk, halogenizirani kaučuk, ciklizirani kaučuk i polimerizacijom modificirani kaučuk.

9.5.3. Regenerirani kaučuk

- Dobiva se preradom starog gumenog otpada pod utjecajem topline i kemijskih sredstava te se dalje prerađuje u gumu na uobičajeni način.
- Najviše se upotrebljava za automobilske gume, odbojnika, pedala, gumenih tepiha, kao dodatak asfaltu za gornji sloj ceste, itd.

9.5.4. Sintetički kaučuci

- Razvoj sintetičkih kaučuka usmjerena je prvenstveno na jednostavniju i jeftiniju tehnologije obrade, tj. Dobivanje termoplastičnih, praškastih i tekućih kaučuka.

Stiren-butadien kaučuk

- Ekonomski najvažniji sintetički kaučuk.
- Ima svojstva slična prirodnim kaučuku, ali je lakše preradiv, otporniji na djelovanje kisika i ozona, fleksibilniji. Ima izuzetnu električnu otpornost, ali je slabo otporan na benzin i uljne proizvode.
- Upotrebljava se osim za pneumatike također za izolaciju cijevi, izolaciju podova, itd.

Polibutadien

- Dobiva se polimerizacijom butadiena u otopini. Pomiješan sa stiren butadien kaučukom vrlo je elastičan, otporan na habanje i starenje.
- Upotrebljava se za automobilske gume i druge proizvode od kojih se zahtijeva velika otpornost na habanje.

Poliizopren

- Proizvodi se polimerizacijom izoprena u otopini. Smatra se imitacijom prirodnog kaučuka za kojima zaostaje jedino po svojstvima obrade i vulkanizacije.
- Upotrebljava se u gotovo svim područjima primjene prirodnog kaučuka.

Poliuretanski kaučuk

- Dobiva se polimerizacijom dialkohola i diizocijanata. Izvršne je otpornosti na habanje i starenje, a dobre otpornosti na oksidaciju i prema otapalima.
- Upotrebljava se u proizvodnji automobilskih guma, brtava, za gumiranje tekstila itd.

Butil kaučuk

- Nastaje kopolimerizacijom izobutilena s malom količinom izoprena.
- Nema jako dobre elastičnosti, ali je zato jako otporan na oksidaciju i nepropustan za vodu i zrak.
- Upotrebljava se za specijalne namjene, izradu zračnica i unutarnje strane automobilskih guma

Polisulfidni kaučuk

- Polikondenzacijski produkt organskih dihalogenida i alkil-polisulfida.
- Slabo je abrazivno otporan, dobro je otporan na oksidaciju i vrlo otporan na otapala i ulja.
- Koriste se za specijalne namjene, npr. Za brtve, za fleksibilne cijevi za benzin

Silikonski kaučuk

- Niske je rastezne čvrstoće i slabe otpornosti na habanje, fleksibilan je kod niskih kao i kod visokih temperatura.
- Upotrebljava se za električne izolacije i brtve.

Etilen-propilenski kaučuk

- Dobiva se polimerizacijom etilena i propilena uz dodatak nekog diena radi lakše vulkanizacije.
- Posjeduje dobru otpornost na brušenje, na toplinu i na niske temperature, na kemikalije, ulja i masti.
- Upotrebljava se za izradu cijevi, specijalnih brtava, spremnika za kemikalije, te za izolaciju žica i kabela.

9.5.5. Guma

- Tehnološki proces prerade kaučuka u gumene proizvoda sastoji se iz sljedećih faza: mastikacija, miješanje kaučuka s dodacima, oblikovanje i vulkanizacija.
- Glavni dodaci koji se miješaju se sredstva za vulkanizaciju, omekšivači ili plastifikatori, dispergatori i aktivatori te boje.

Omekšivači ili plastifikatori

- Kao omekšivači upotrebljavaju se mineralna ulja, esteri masnih kiselina, itd.
- Time što olakšavaju preradu kaučukove smjese, također smanjuju korištenje energije za miješanje.

Dispergatori i aktivatori

- Ovi dodaci povećavaju viskoznost smjese i omogućavaju dispergiranje dodataka, brzinu vulkanizacije i broj umreženja.
- Sastojci gume često su i dijelovi kompozitne strukture koja sadrži druge materijale kao što su tekstilije, metali i plastika.

- Homogenizirana kaučukovca smjesa oblikuje se i vulkanizira.
- Kao sredstvo za vulkanizaciju najviše se koristi sumpor i njegovi spojevi.
- Kemizam vulkanizacije složen je proces umreženja poprečnim povezivanjem linearnih polimernih molekula.

9.6. Silikoni

- Silikonski materijali izrađeni su od polimera ugljika vezanih s anorganskim elementom silicij. Elementom koji je u anorganskoj kemiji vrlo sličan ugljiku u organskoj kemiji.
- Najjednostavniji polimer silikona je metilsilikon koji je sastavljen od molekula s približno 10 atoma silicija.

- Kemijska postojanost kao i elektroizolacijska svojstva silikona su dobra.
- Silikon se koristi za impregnaciju drva i betona radi zaštite od vlage, kao i za proizvodnju elastičnih i ostalih predmeta ako se kakvoća istih ne može postići jeftinijim polimerima.

10. Elektrolučno zavarivanje

Postupak spajanja materijala dvaju ili više dijelova s pomoću dodatnog materijala ili bez njega.

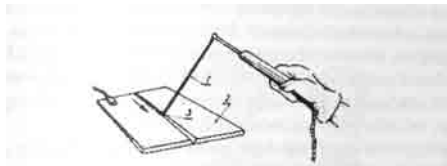
10.1. Podjela osnovnih postupaka zavarivanja

1. Plinsko zavarivanje
2. Elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama neposrednim ručnim upravljanjem (**REL**)
3. Gravitacijski postupak zavarivanja
4. Elektrolučno zavarivanje pod praškom (**EPP**)
5. Elektrolučno zavarivanje praškom punjenim žicama
6. Elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi plinova
7. Elektrolučno zavarivanje **taljivim** elektrodama u zaštitnoj atmosferi **inertnih** plinova (**MIG**)
8. Elektrolučno zavarivanje **taljivim** elektrodama u zaštitnoj atmosferi **aktivnih** plinova (**MAG**)
9. Elektrolučno zavarivanje **netaljivim** elektrodama u zaštitnoj atmosferi **inertnih** plinova (**TIG**)

Plinsko zavarivanje

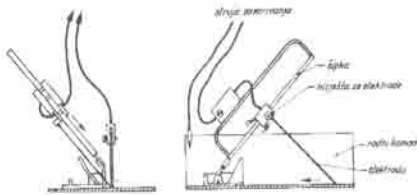
- Kisik
- Acetilen
 - Temperatura 3100-3200°C
- Propan-butan
 - Temperatura 2000-2700°C
- Ručna regulacija
- Zavar- nekvalitetan i veća unutarnja naprezanja
- Tanki limovi
- Obojeni metali

Elektrolučno zavarivanje obloženim elektrodama neposrednim ručnim upravljanjem (**REL**)

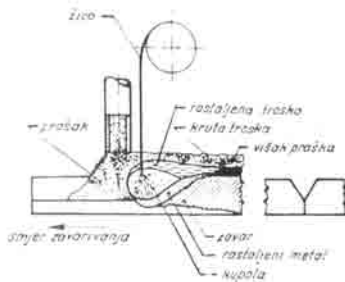


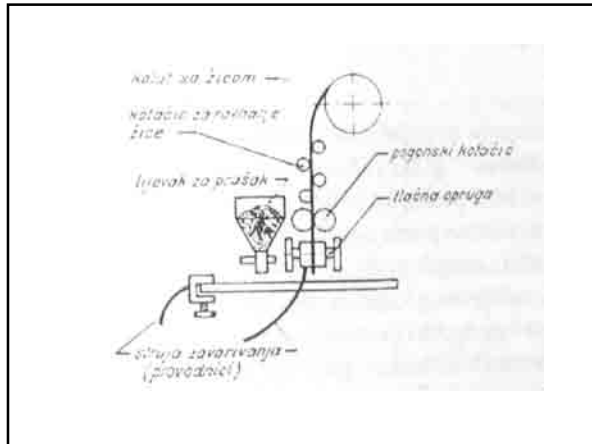
1. elektroda, 2. zavarivani metal, 3. električni luk, 4. elektroda

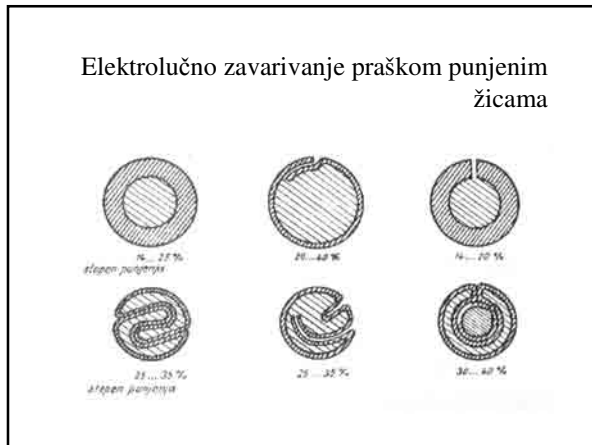
Gravitacijski postupak zavarivanja



Elektrolučno zavarivanje pod praškom (**EPP**)







Elektrolučno zavarivanje u zaštitnoj atmosferi plinova

Zavarivanje se koristi u korelaciji:

- Zaštitne atmosfere
 - Inertni plinovi
 - Aktivni plinovi
- Elektrode
 - Taljive
 - Netaljive

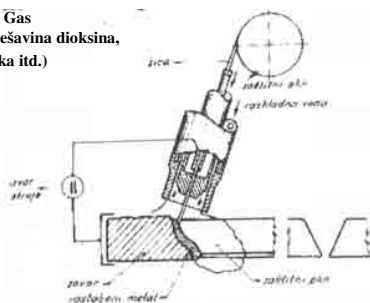
Elektrolučno zavarivanje **taljivim** elektrodama u zaštitnoj atmosferi **inertnih** plinova (MIG)

- Metal Inert Gas (Argon, Helij)



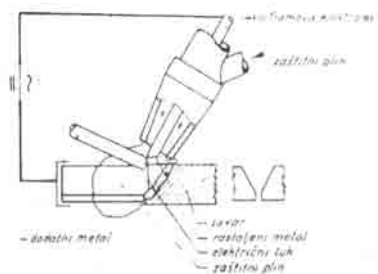
Elektrolučno zavarivanje **taljivim** elektrodama u zaštitnoj atmosferi **aktivnih** plinova (MAG)

- Metal Aktivni Gas (CO₂, mješavina dioksida, argona, kisika itd.)



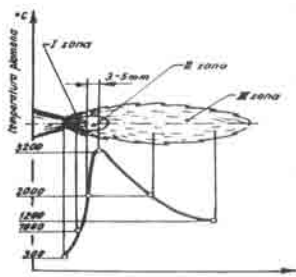
Elektrolučno zavarivanje **netaljivim** elektrodama u zaštitnoj atmosferi **inertnih** plinova (TIG)

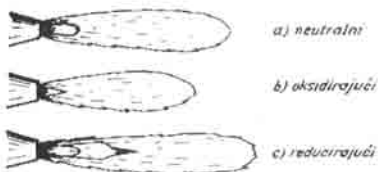
- Tungsten Inert Gas
netaljiva volframova elektroda talište 3410°C



10.2. Izvori energije za zavarivanje

10.2.1. Plinski plamen

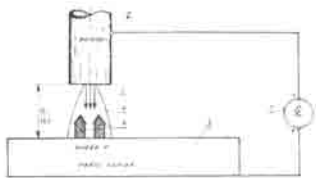




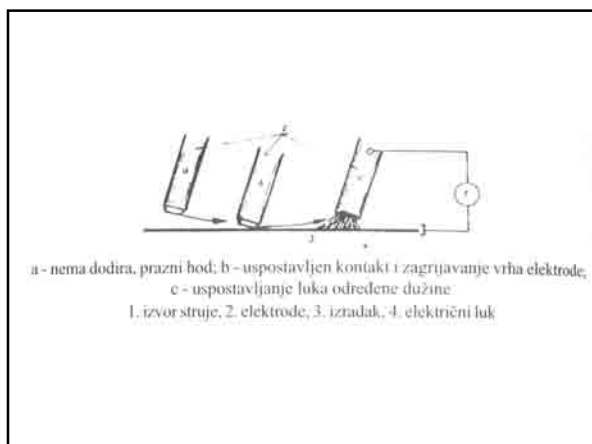
10.2.2. Električni luk

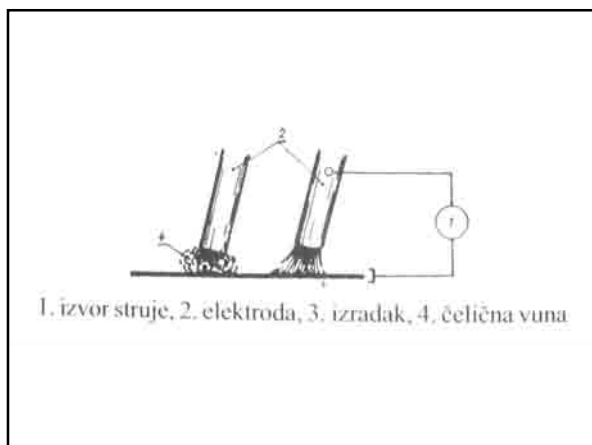
10.2.2.1. Osnovno o električnom luku

1. Nalaze se plinovi
2. Provodi električnu struju
3. Omski otpor
4. Magnetsko polje
5. Toplinski provodljiv
6. Isijava infracrvene, svjetlosne i ultraljubičaste zrake
7. Visoka temperatura 4000°C
8. Izaziva pritisak na talinu
9. Određena dužina
10. Električni napon



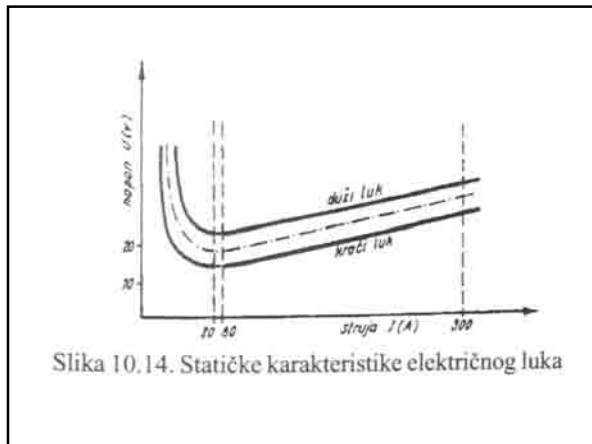
1. izvor istosmjernje struje, 2. elektroda, 3. izradak, 4. električni luk, UL - napon luka (V), L - dužina luka (mm), 5. smjer gibanja elektrona, 6. smjer gibanja iona.

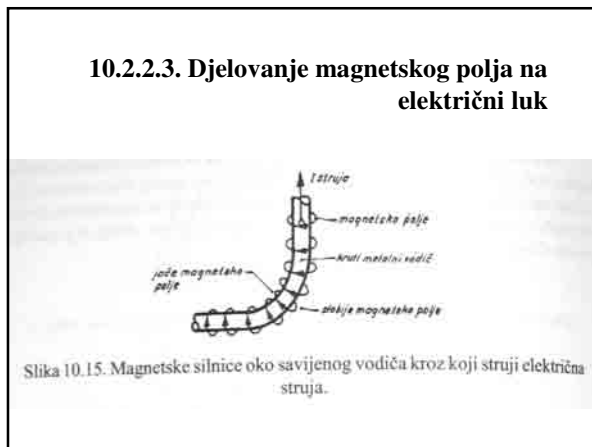


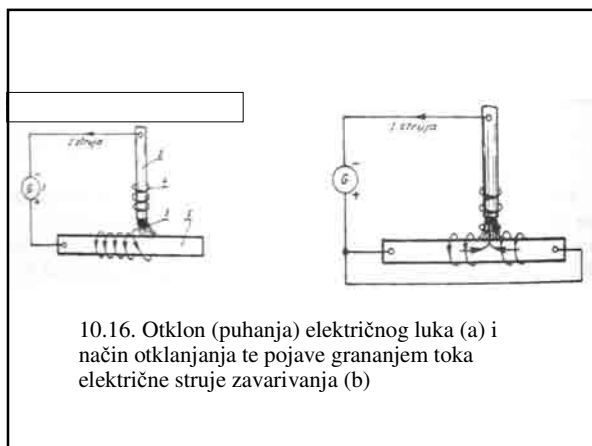


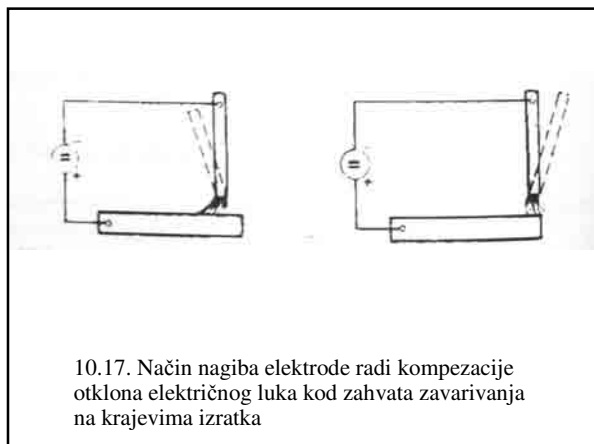
10.2.2.2. Električni luk istosmjerne i izmjenične struje

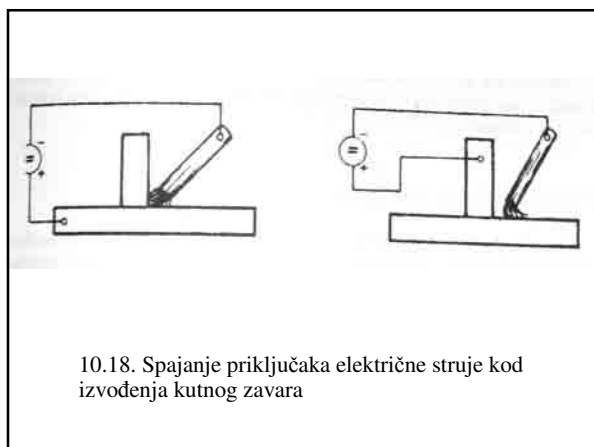
1. početak prekidanja luka, 2. početak ponovnog uspostavljanja luka, K - katodna mirija, Δt - vrijeme, dok je luk "ugašen"

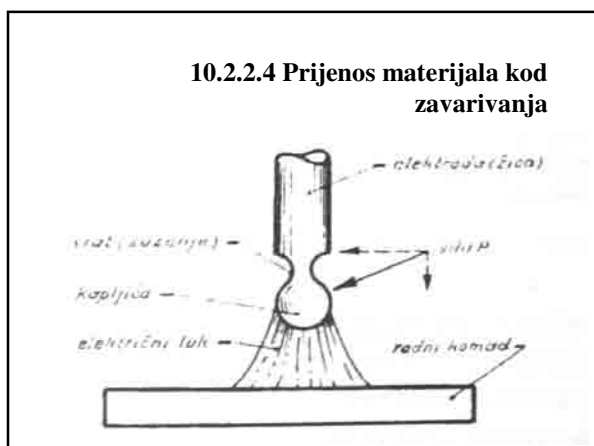




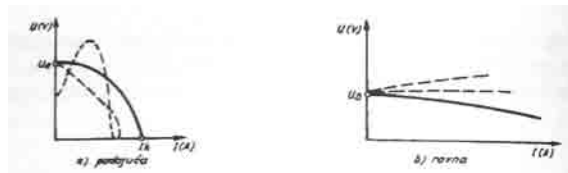




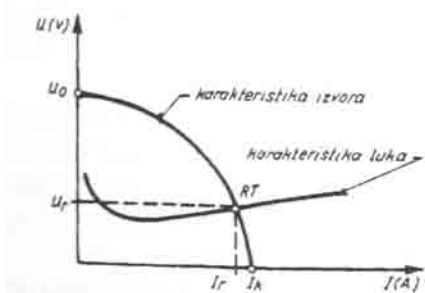




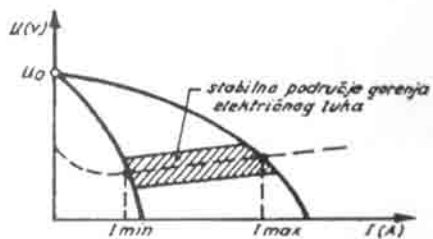
10.3. Izvori električne struje za zavarivanje



10.20. Oblici statičkih karakteristika izvora struje



10.21. Radna točka procesa zavarivanja



I_{min} - najmanja struja zavarivanja
 I_{max} - najveća struja zavarivanja

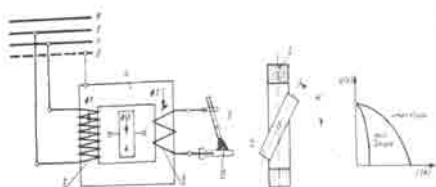
Slika 10.22. Područje regulacije struje zavarivanja

10.3.1. Transformatori za zavarivanje

Pretežito s padajućom karakteristikom

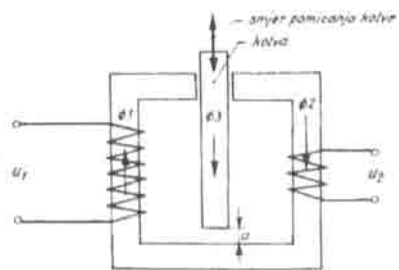
- Primarni namotaj (okolina, mreža)
- Sekundarni namotaj (zavarivački krug)
- Jezgra od čeličnih limova
- Sklop za regulaciju
- Kućište
- Ventilator

Zakretna kotva

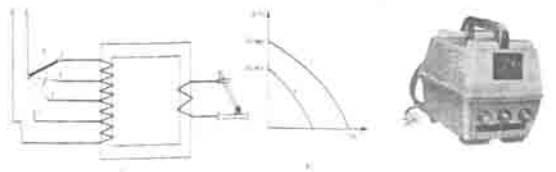


ϕ - magnetski tok, 1 - željezna jezgra, 2 - primarni svitak, 3 - sekundarni svitak, 4 - pomična kotva, 5 - izradak, 6 - elektroda

Pomična kotva

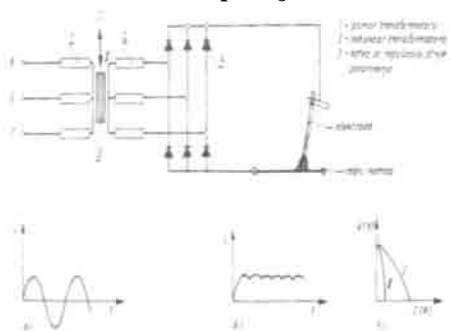


Promjena broja zavoja



a) shema transformatora, b) statička karakteristika, c) izgled transformatora male snage

10.3.2. Ispravljači za zavarivanje



10.4. Zavarljivost materijala

- Zavarljivost čelika
- Zavarljivost sivog lijeva
- Zavarivanja aluminija i aluminijskih legura
- Zavarivanje bakra i legura bakra

10.4.1. Zavarljivost čelika

- Nelegirani konstrukcijski čelik
 - Pogodan za zavarivanje do 0,25%C
- Niskolegirani čelici
 - Pogodni, manganski čelici do 0,22%C i do 1,6%Mn
 - Manje pogodni, dodatak mangana i nikla
 - Nepogodni, dodatci kroma, nikla, molibdena, vanadija. Treba ih predgrijavati.
- Visokolegirani nehrđajući čelici
 - Martenzitni
 - Feritni
 - Austenitni

10.4.2. Zavarljivost sivog lijeva

- Problemi kod zavarivanja:
 - Talina brzo prelazi u kruto stanje
 - Plastično stanje se gotovo ne pojavljuje
 - Ne podnosi plastične deformacije
 - Ne podnosi naprezanja pri lokalnom zagrijavanju

10.4.2. Zavarljivost sivog lijeva

- Tehnologija elektrolučnog zavarivanja:
 - Predzagrijavanja (oko 600°C)
 - Elektroda
 - velikog presjeka iz sivog lijeva
 - Obloženih specijalnih nikal ili monel
 - Priključak na plus pol
 - Zavaruje se kratkim nanosom (20-30 mm)
 - Ako nema predgrijavanja okolina je max na 70°C
 - Vršiti postupak iskivanja zavara po završetku vara

10.4.3. Zavarivanja aluminija i aluminijskih legura

- Sastav elektrode treba biti prilagođen sastavu osnovnog materijala
- Zavarivanje se vrši istosmjernom strujom
- Elektroda na plus polu (treba se intezivnije taliti)
- Jačina struje iznosi oko 25-30 A po mm promjer elektrode
- Elektrode su hidroskopne, čuvati ih od vlage
- Postupak uspostavljanja i prekidanja električnog luka je isti kao kod zavarivanja bazičnom elektrodom
- Električni luk treba biti što kraći, oko pola promjera elektrode
- Nagib elektrode minimalan 85-90^o
- Brzina posmaka je znatno veća od el. za čelik
- Prije i poslije zavarivanja dobro očistiti površine

10.4.4. Zavarivanje bakra i legura bakra

Bakar:

- Zahvat se izvodi u vodoravnom položaju, radi velike žitkosti
- Materijal iznad 5 mm treba predgrijavati, visoka vodljivost
- Uпотреbljava se što veći promjer elektrode
 - Velika jačina struje
 - Velika količina topline
- Površina treba biti čista
- Struja zavarivanja, istosmjerna, elektroda na plus polu
- Zbog intezivnog odvoda topline izvoditi što uže zavare, bez gibanja vrha elektrode

10.4.4. Zavarivanje bakra i legura bakra

Mjed

- Dodatni materijal su specijalne obložene elektrode s prilagođenim sastavom
- Struja zavarivanja istosmjerna, elektroda na plus polu
- Pri zavarivanju korijena zavara nužne su podloške od grafita ili azbesta da ne bi došlo do prokapljina, sprovesti postupak predgrijavanja
- Održavati što kraći luk
- Pare cinka su opasne za zavarivača, posebna zaštita
- Silicijska bronca se ne predgrijava, zavarivanje se vrši slično kao zavarivanje sivog lijeva, zavar je kratak i iskiva se

10.4.4. Zavarivanje bakra i legura bakra

Bronca

- Dodatni materijal su specijalne obložene elektrode sa sastavom prilagođenim sastavu osnovnog materijala
- Struja zavarivanja istosmjerna, elektroda na plus polu
- Pri zavarivanju korijena zavara nužne su podloške od grafita ili azbesta da ne bi došlo do prokapljina
- Sprovesti postupak predgrijavanja
- Trosku treba odstraniti a korijen vara brusiti
- Zavaruje se u vodoravnom položaju, zbog velike žitkosti
- Izvoditi što užu zavar sa što manje taline i sa što bržim vođenjem elektrode da se smanji isparavanje cinka, koji ima nižu točku tališta

10.5. Obložene elektrode

- Primjenjuje se kod ručnog elektrolučnog zavarivanja (REL)
- Elektroda je sastavljena od metalne jezgre i nanešene obloge
- Sastav obloge zadovoljava:
 - Stabilizaciju električnog luka (spojevi natrija, kalija i sl.
 - Stvaranje troske (oksidi i rude kao hematit, rutil, kvarc i sl.)
 - Stvaranje plinova (uglavnom organske materije i karbonati)
 - Legiranje i dezoksidacija (različite ferolegure)

10.5.1. Funkcije i karakteristike obloge

- Električna
 - Uspostavljanje i održavanje el. luka
- Fizikalna
 - Olakšanje izvođenja zavarivanja u prisilnom položaju i u talini
- Metalurška
 - Legiranje
 - Otplinjavanje
 - Rafinacija

10.5.1. Funkcije i karakteristike obloge

- Bazične obloge
 - Sastoji se od vapnenca, dolomita i magnezija te kalvijevih fluorida, karbonata, titanova dioksida, sikata i dezoksidanata
 - Hidroskopske te se suše u pećima (200°C)
 - Plus pol
- Rutilne obloge
 - Dobra mehanička svojstva
 - Istosmjerna i izmjenična struja
 - Svi položaji zavarivanja
 - Nedostatak
 - Smanjena istezljivost i žilavost vara
 - Žilavost vara na niskim temperaturama slabija nego kod bazičnih elektroda

10.5.2. Podjela obloženih elektroda

Prema vrsti metalurškoj karakteristici obloga HRN C.H3.001.
:

- S kiselom oblogom (oznaka A)
- S bazičnom oblogom (oznaka B)
- S celuloznom oblogom (oznaka C)
- S oksidirajućom oblogom (oznaka O)
- S titanskom (rutilnom) oblogom (oznaka V)
- S oblogom različitim od oznaka A,B,C,O i R (oznaka R)
- S oblogom u koju se dodaje još i željezni prašak, osim osnovne oznake A,B,C,O i R (oznaka Fe)

10.5.2. Podjela obloženih elektroda

Prema debljini obloge:

- Tanko obložene indeks do 1,2
- Srednje obložene 1,2 – 1,4
- Debelo obložene veći od 1,4

Prema dimenzijama:

- Elektrode ϕ 2,5 mm i dužine 200, 300, 350 mm
- Elektrode ϕ 3,25 mm i dužine 350, 450 mm
- Elektrode ϕ 4 mm, ϕ 5 mm ϕ 6 mm ϕ 8 mm ϕ 10 mm i dužine 350 ili 450 mm ili više

10.5.2. Podjela obloženih elektroda

Prema posebnim tehnološkim osobinama:

- Duboko penetrirajuće
 - Do 10 mm bez pripreme utora
- Visoko produktivne
 - Prah u oblozi
- Za određene uvjeta rada
 - Sastojci u oblozi
- Prema namjeni
 - Zavarivanje i navarivanje

10.6. Popratne pojave kod procesa zavarivanja

10.6.1. Pojava poroznosti u zavarenom spoju

- Pojavljivanje pora ispunjene plinom ili bez plina.



Schema rasta i otplinjavanje mjehurića iz taline zavara tijekom skrućivanja metala

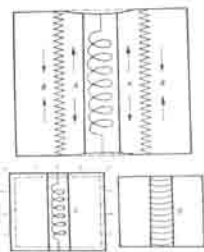
10.6.2. Nastajanje nemetalnih uključaka

- Nemetalni uključci u zavaru potječu od:
 - Oksida, nitrata, sulfida i minerala iz obloge
- Nemetalnim uključkom prekinuta struktura vara
- Nemetalni uključci sprječavaju se izborom elektrode

10.6.3. Nastajanje pukotina u zavarenom spoju

- Pukotine u zavaru, djelomični ili potpuni lomovi metala
- Po nastanku, tople i hladne
- Po veličini, mikropukotine i makropukotine
- Po položaju, uzdužne i poprečne o smjeru vara

10.6.4. Zaostala naprežanja i trajne deformacije u zavarenoj konstrukciji



A - Zavar ohlađen je vlačno opterećen zbog reakcije osovinskog materijala; B - Osovinski materijal je tlačno opterećen silom stezanja zavaru; A i B - Zavareni spoj u zaostalim unutarnjim naprežanjima; C - Zareni izradak postupkom za redukciju unutarnjih napetosti (oko 600°C); D - Odlični izradak.

Pojednostavljen prikaz djelovanja zaostalih naprežanja u uzdužnom smjeru zavarenog spoja

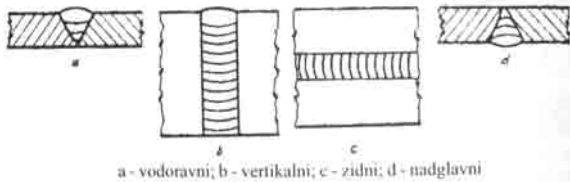
10.7.2. Osnovne osobine ručnog elektrolučnog zavarivanja taljivom obloženom elektrodom

- Zavarivanje svih zavarljivih materijala
- Zavarivanje u svim položajima
- Zavarivanje s relativno najjeftinijim uređajima
- Primjenjivo na terenu
- Izvođenje reparaturnih varova
- Jednostavno rukovanje
- Mali radni učinak
- Mala iskoristivost elektrode
- Velika ovisnost o kakvoći zavara
- Velika ovisnost o stručnosti zavarivača

10.7.3. Glavni čimbenici koji utječu na kakvoću zavara

- Osnovni i dodatni materijal
- Toplinska obrada
- Položaj zavarivanja
- Parametri zavarivanja
- Tehnološki postupak zavarivanja

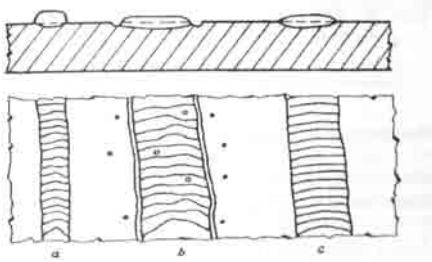
10.7.3.1. Utjecaj radnog položaja



10.7.3.2. Utjecaj vrste struje i polariteta

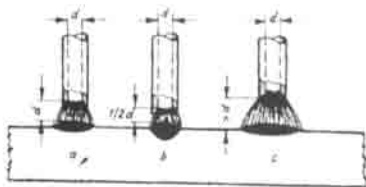
- Pogrešna vrsta struje i polaritet
- Povećana poroznost zavara
- Nestabilnost električnog luka
- Povećano prskanje kod zavarivanja

10.7.3.3. Utjecaj jakosti električne struje

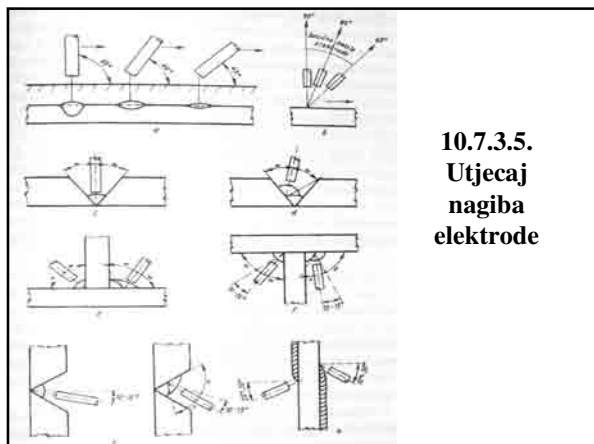


Utjecaj jačine struje zavarivanja na veličinu vara i izgled vara
a) preslaba, b) prejaka, c) ispravna jačina struje

10.7.3.4. Utjecaj dužine električnoga luka



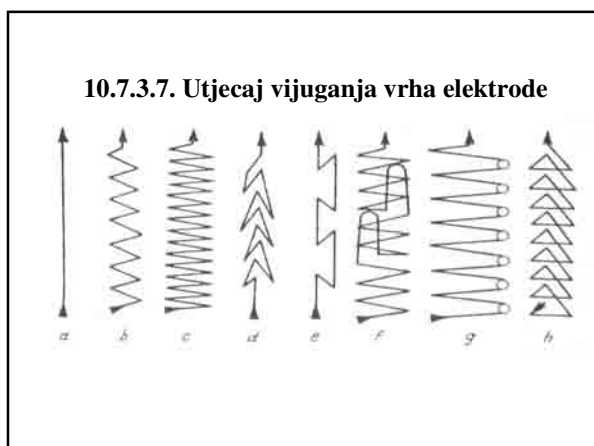
- Ispravna dužina luka za kisele i rutilne elektrode, dužina luka jednaka je veličini promjera elektrode
- Kratki luk za bazične elektrode, dužina luka jednaka je polovini promjera elektrode
- Predugačak (neispravan) električni luk



**10.7.3.5.
Utjecaj
nagiba
elektrode**

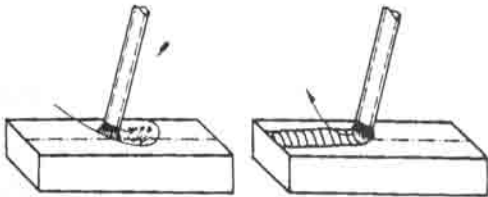
10.7.3.6. Utjecaj brzine zavarivanja

- Pomicanje elektrode u smjeru zavarivanja
- Veća brzina – uži var s plićim uvarom
 - Podilaženje taline pod električni luk
 - Pojava pilećeg vara
 - Slabo povezivanje i uključci troske
- Manja brzina- širi var s većim uvarom
- Ispravna brzina
 - Ovisi o obliku i dimenziji spoja
 - Položaju zavarivanja
 - Vrsti elektrode

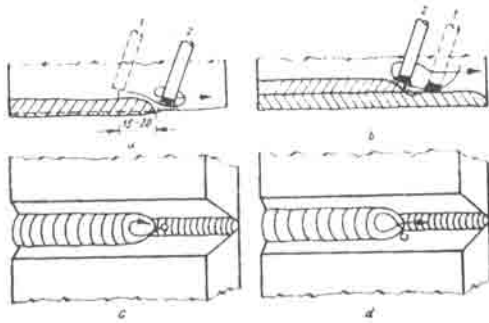


10.7.3.7. Utjecaj vijuganja vrha elektrode

10.7.3.8. Utjecaj uspostavljanja i prekidanja električnog luka

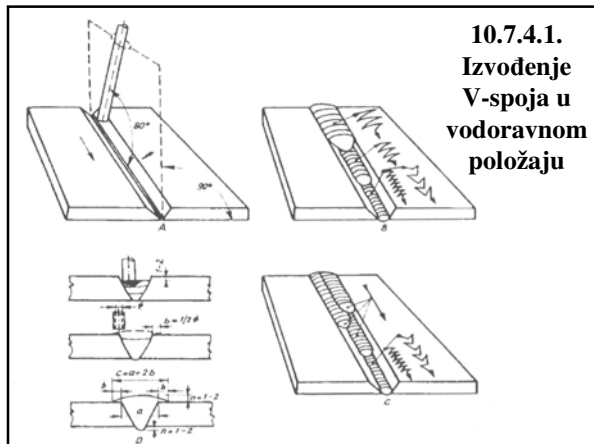


10.7.3.9. Utjecaj izvođenja nastavka zavara

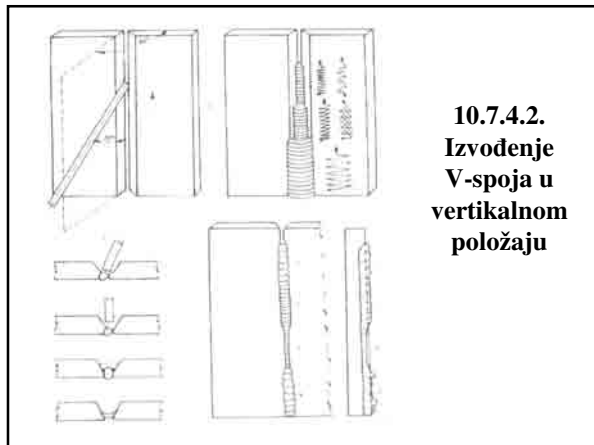


10.7.4. Izvođenje zavarenog spoja

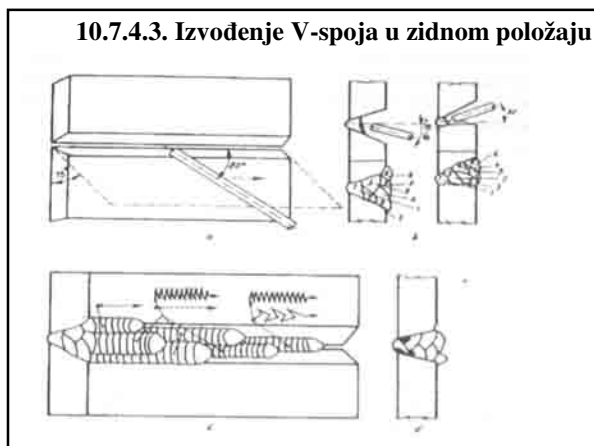
Ovisnost o obliku spoja i položaju zavarivanja.



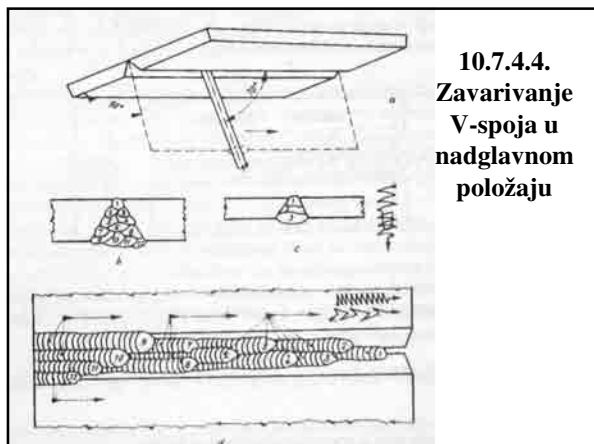
10.7.4.1.
Izvođenje
V-spoja u
vodoravnom
položaju



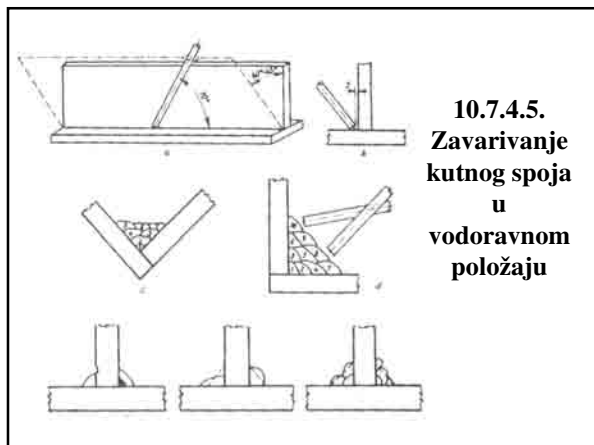
10.7.4.2.
Izvođenje
V-spoja u
vertikalnom
položaju



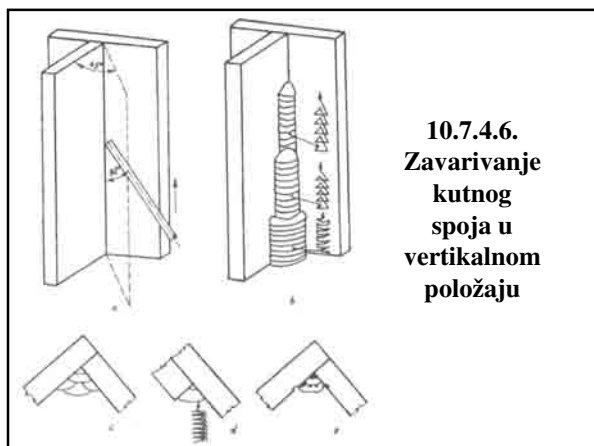
10.7.4.3. Izvođenje V-spoja u zidnom položaju



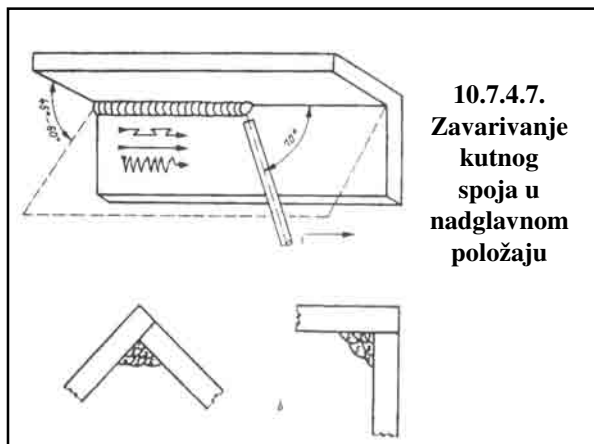
10.7.4.4.
Zavarivanje
V-spoja u
nadglavnom
položaju



10.7.4.5.
Zavarivanje
kutnog spoja
u
vodoravnom
položaju



10.7.4.6.
Zavarivanje
kutnog
spoja u
vertikalnom
položaju



**10.7.4.7.
Zavarivanje
kutnog
spoja u
nadglavnom
položaju**

11. OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA

11.1. Temelj obrade odvajanja čestica

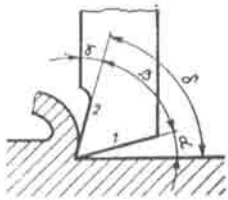
Obrada odvajanjem čestica je skup postupaka pomoću kojih se oblikuje obradak skidanjem materijala.

Podjela postupaka:

- Strojno
- Ručno

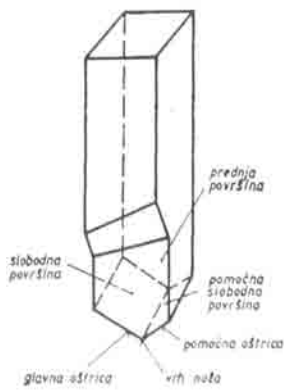
Svaki postupak, uz tehnologiju obrade, karakteriziran je učinkom i kakvoćom postignute obrade.

11.1.1. Alati i njihovi kutovi

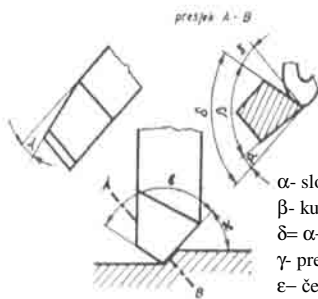


- 1- slobodna (ledna)
- 2- prednja (grudna)
- α - slobodni (ledni) kut
- β - kut klina
- γ - prednji (grudni) kut
- $\delta = \alpha + \beta$

Nož za blanjanje

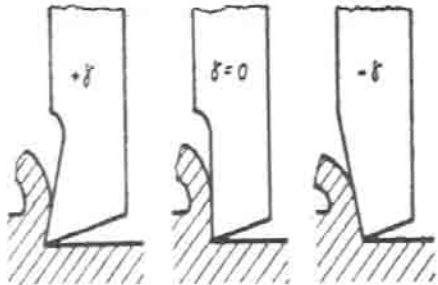


Kutevi noža za tokarenje

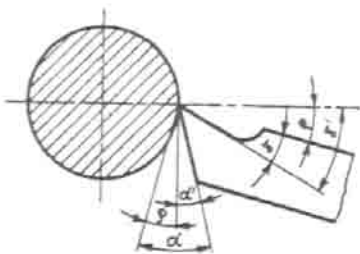


- α - slobodni (ledni) kut
- β - kut klina
- $\delta = \alpha + \beta$
- γ - prednji (grudni) kut
- ϵ - čeon (vršni) kut
- λ - kut nadvišenja (nagib oštrice)
- κ - kut namještanja (prislon oštrice)
- ρ - koso namještanje alata

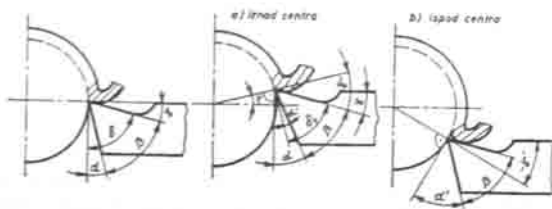
Veličine kuta γ prednje površine



Korekcija prednjeg kuta γ kosim namještanjem

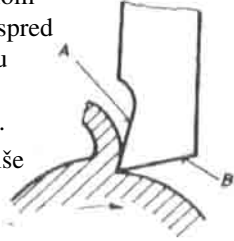


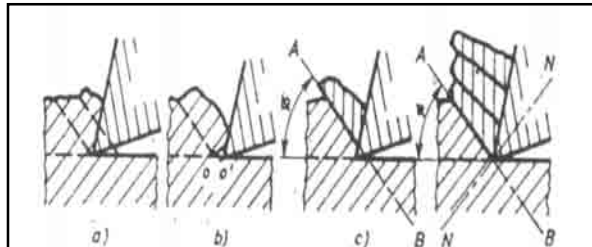
Promjena kutova obrade visinskim namještanjem



11.1.2. Teorija odvajanja čestica

- Strugotina nastaje plastičnom deformacijom materijala ispred prednje površine alata A, u kombinaciji s istodobnim smicanjem u smičnoj zoni.
- Deformacija se odvija u više faza.

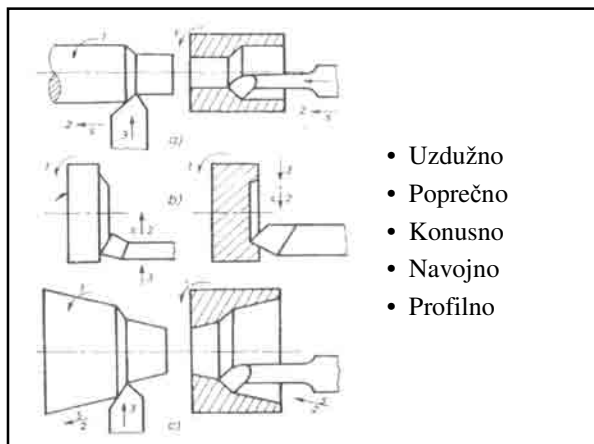




- Prodiranje alata, lamela buduće strugotine trapeznog oblika
- Vlačno naprezanje, stvaranje pukotine ispred oštrice alata
- Odvajanje strugotine smičnim naprezanjem, klizanje duž ravnine smicanja i alata
- Odvajanje strugotine

11.2. Tokarenje

- Tokarenje je postupak obrade skidanjem strugotine, koji se odlikuje kontinuiranim rezom i konstantnim presjekom strugotine.
- Obilježje tokarenja;
 - obradak, glavno gibanje, rotacija
 - alat, pomoćno gibanje, pravocrtno

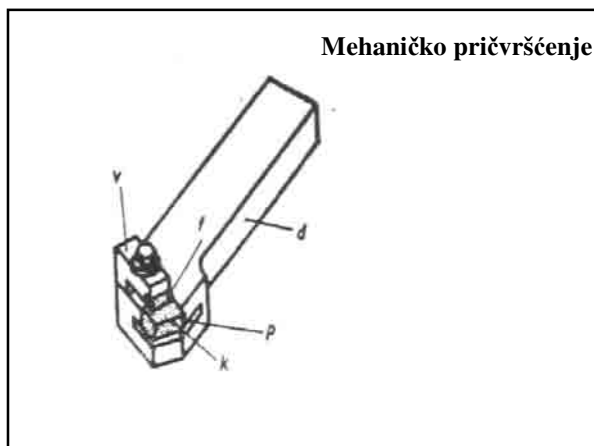


- Uzdužno
- Poprečno
- Konusno
- Navojno
- Profilno

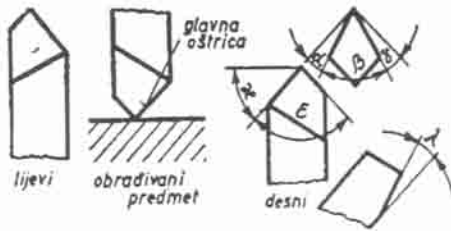
11.2.1. Rezna geometrija oštrice tokarskih noževa

- Podjela
- Brzorezni čelik
- Pločica
 - Sintervolfram karbida
 - Sa presvlakom
 - Bez presvlake
 - Keramička pločica

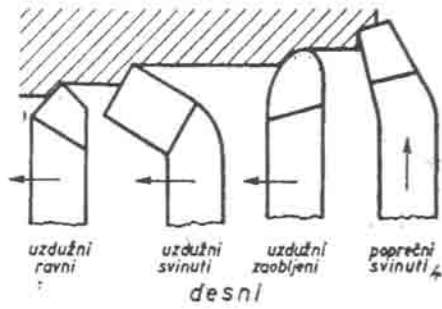
Mehaničko pričvršćenje



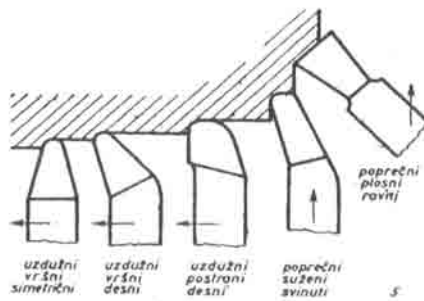
Osnovni parametri konstrukcije standardnog tokarskog noža



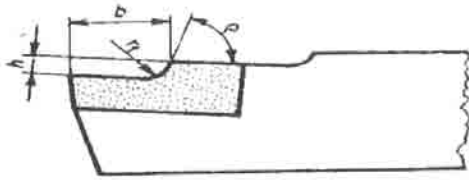
Osnovni parametri konstrukcije standardnih tokarskih noževa za grubu vanjsku obradu



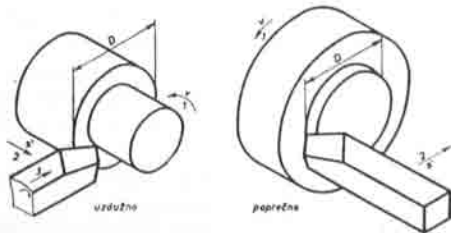
Osnovni parametri konstrukcije standardnih tokarskih noževa za finu vanjsku obradu



11.2.2. Element za formiranje strugotine



11.2.3. Brzina rezanja pri tokarenju

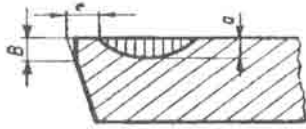


Brzina rezanja pri tokarenju

- Obodna brzina izratka
- $v = D \times \pi \times r / 1000$ (m/min)

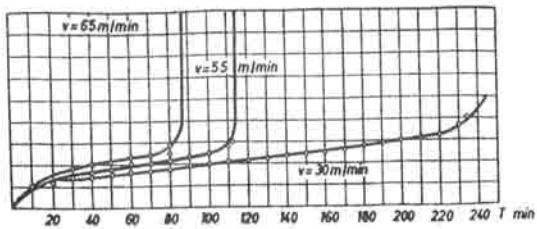
- Brzina posmaka
- $v_f = f \times r / 1000$ (m/min)

11.2.4. Postojanost oštrice

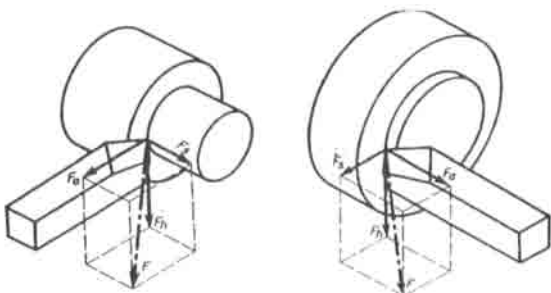


- ✓ Materijalu alata
- ✓ Geometriji alata
- ✓ Brzini rezanja
- ✓ Materijalu obratka
- ✓ Krutost obradnog sustava
- ✓ Oblik strugotine
- ✓ Kakvoći rashladnog sredstva

Veličina istrošenja "D" u funkciji vremena rezanja



11.2.5. Sile rezanja pri tokarenju



11.2.6. Snaga rezanja

- Snaga rezanja

$$P_N = F_h \cdot v / 6120 = A \cdot f_s \cdot v / 6120 \text{ (kW)}$$

- Snaga motora

$$P_B = P_N / \eta = A \cdot f_s \cdot v / 6120 \cdot \eta \text{ (kW)}$$

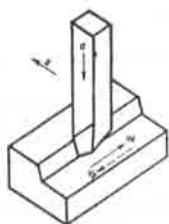
$\eta = 0,75 - 0,95$ – starije konstrukcije

$\eta = 0,75 - 0,82$ – složene konstrukcije

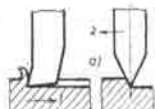
11.3. Blanjanje (šeping)

- Podjela postupka
 - Dugohodno
 - Obradak, glavno gibanje
 - Alat, pomoćno gibanje
 - Kratkohodno
 - Alat, glavno gibanje
 - Obradak, pomoćno gibanje
- Glavno gibanje je pravocrtno
- Proces rezanja periodičan
- Radni i jalovi hod

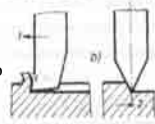
11.3.1. Opis rada i podjela postupaka



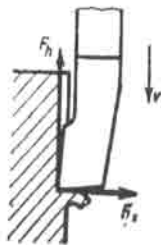
Dugohodno
blanjanje



Kratkohodno
blanjanje



Postupak dubljenja blanjalicom



11.3.1. Snage kod postupka blanjanja i dubljenja

- Snaga rezanja

$$P_N = F_h \cdot v / 6120 = A \cdot f_s \cdot v / 6120 \text{ (kW)}$$

- Snaga motora

$$P_n = P_N / \eta = A \cdot f_s \cdot v / 6120 \cdot \eta \text{ (kW)}$$

$\eta = 0,75 - 0,95$ – starije konstrukcije

$\eta = 0,75 - 0,82$ – složene konstrukcije

11.4. Bušenje i obrada provrta

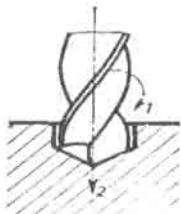
- Bušenje, postupak obrade skidanjem strugotine.

- Glavno gibanje je rotacija

- Alat, glavno gibanje
- Alat, pomoćno gibanje
- Obradak, miruje

- Proces rezanja kontinuiran

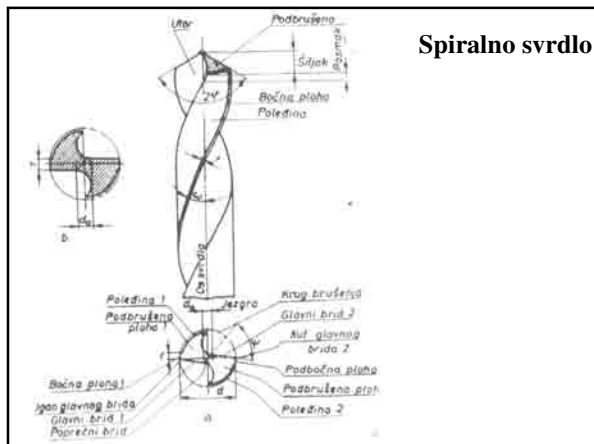
Osnovne kretnje pri bušenju



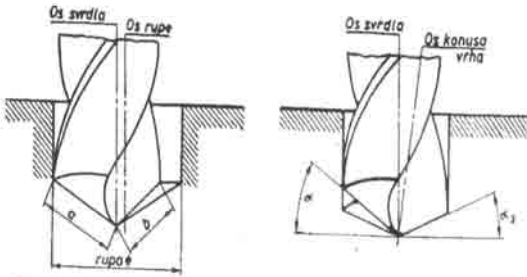
11.4.1. Alati za izvođenje operacije bušenja

- Spiravno svrdlo
– (točkalo)
- Upuštalo
- Razvrtalo

Spiravno svrdlo



Pogreške pri oštrenju glavnih oštrica

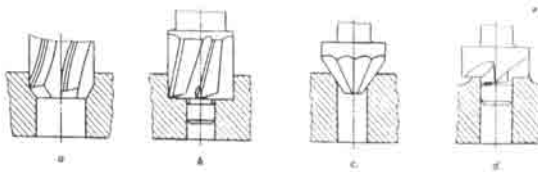


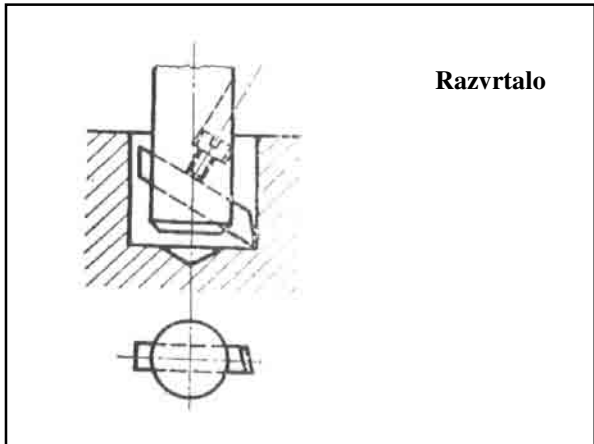
Topovsko svrdlo

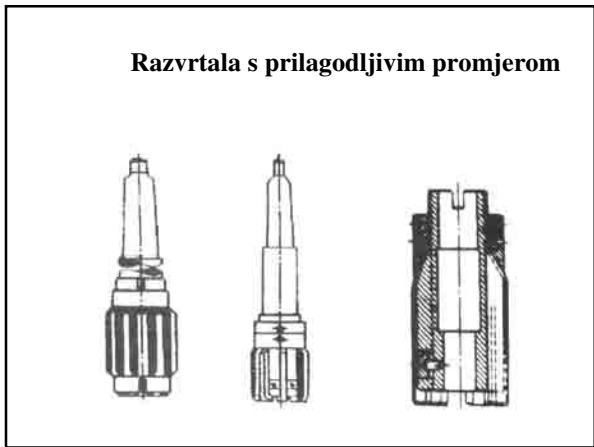


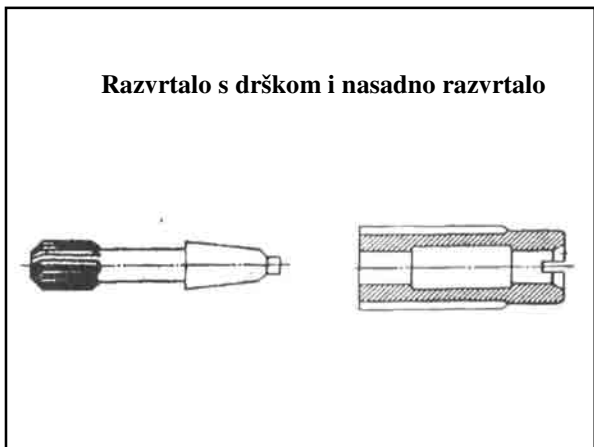
- Koristi se za duge provrte

Upuštalo

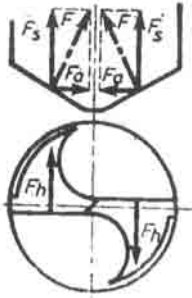








11.4.2. Sile na glavnim oštricama spiralnog svrdla



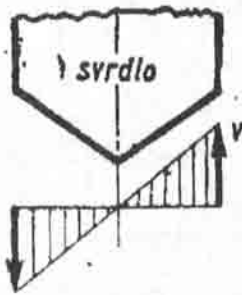
$$F_h = A_1 * f_s$$

Gdje je:

- F_h - sila rezanja
- A_1 - presjek strugotine na jednoj oštrici
- f_s - specifična sila rezanja

Obrtni moment ?

11.4.3. Brzine rezanja pri bušenju



Brzina rezanja
 $v = D * \pi * r / 1000$

Srednja brzina rezanja
 $v_m = v / 2$

11.4.4. Snaga bušenja

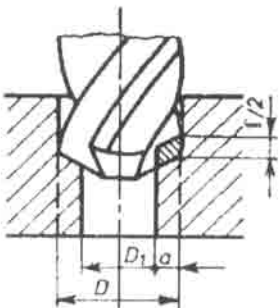
Snaga bušenja

$$P_N = 2 * F_h * v / 6120 = 2 * A * f_s * v / 6120 \text{ (kW)}$$

odnosno

$$P_N = D * s * f_s * v / 24480 \text{ (kW)}$$

11.4.5. Presjek strugotine i opterećenje upuštala pri upuštanju



$$A_1 = ((D - D_1) / 2) f / z = a * f / z$$

$$A = A_1 * z$$

f- posmak svrdla
z- broj zubi upuštala

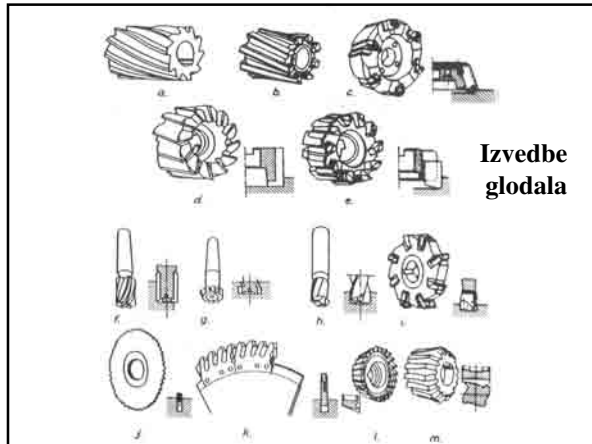
$$F_h = A * f_s$$

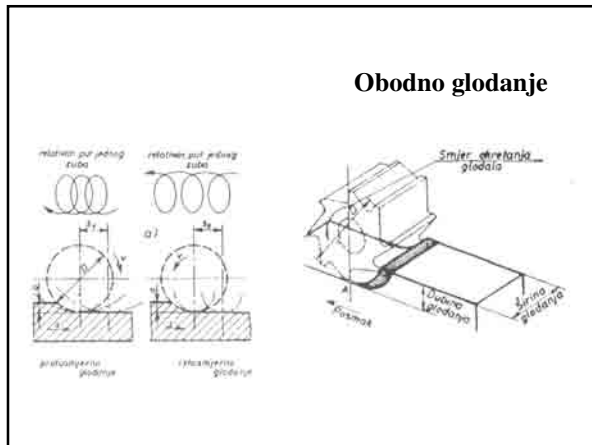
f_s- specifična sila rezanja

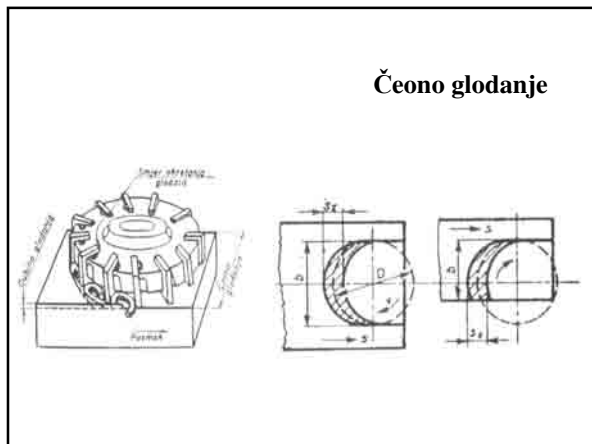
11.5. Glodanje

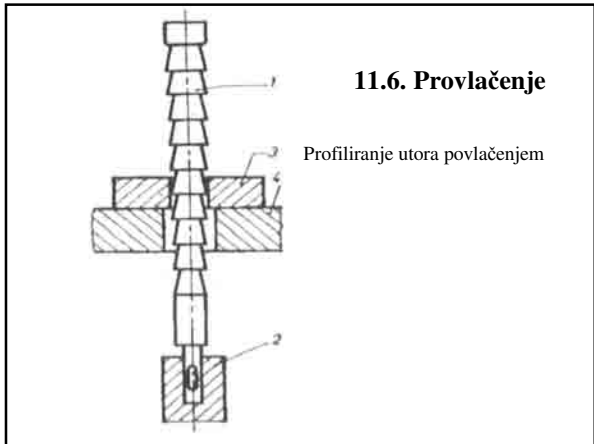
- Kod postupka obrade glodanjem, oštrice glodala dolaze u zahvat sukcesivno.
- Glavno gibanje je rotacija
 - Alat, glavno gibanje, rotacija
 - Obradak, pomoćno gibanje, pravocrtno
- Proces rezanja diskontinuiran

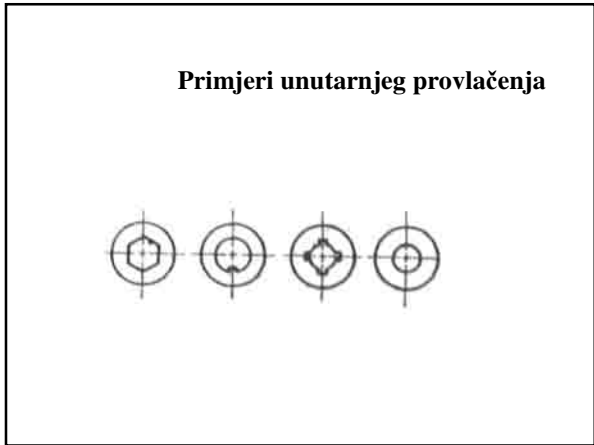
11.5.1. Mehanika rezanja i podjela postupka glodanja

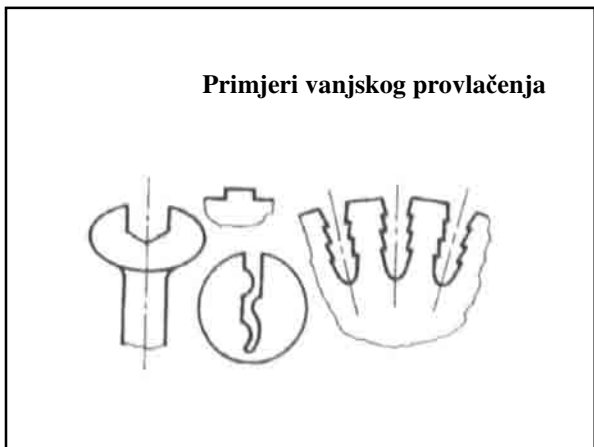










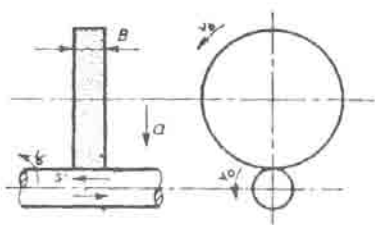


11.7. Brušenje

- Postupak završne obrade s malim presjecima strugotine.
- Podjela:
 - Vanjsko kružno brušenje
 - Unutrašnje kružno brušenje
 - Ravno ili plansko brušenje
 - Profilno brušenje

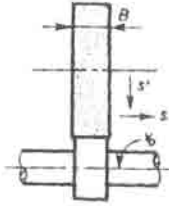
11.7.1. Postupci brušenja

11.7.1.1. Vanjsko kružno brušenje

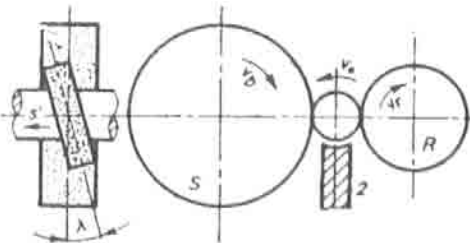


Uzdužno

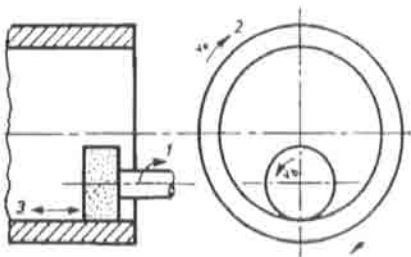
Radijalno



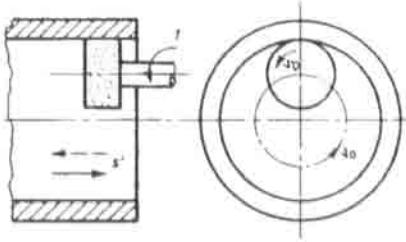
Brušenje bez šiljka



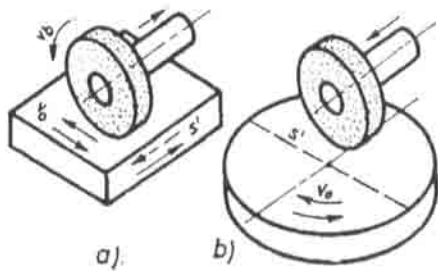
11.7.1.2. Unutarnje kružno brušenje



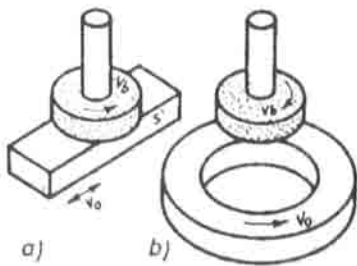
Unutarnje planetarno brušenje



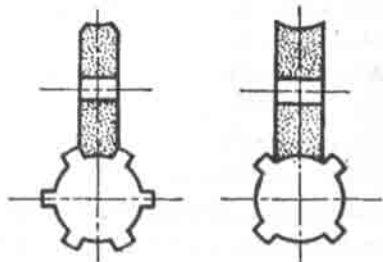
11.7.1.3. Ravno ili plansko brušenje



Plansko brušenje



11.7.1.4. Profilno brušenje



11.7.2. Brusovi

- Brus se sastoji iz oštrica kristalita u obliku zrnaca, koji nakon što se istroše ispadaju i time oslobađaju pristup novim oštrim zrcima, to od veziva tih zrnaca.

Zrnca umjetnog porijekla

- **Silicijev karbid**, (karborundum)
 - Dobiva se topljenjem koksa, kvarcnog pijeska i soli u električnoj peći
 - Vrlo krhki dijamanti, romboidi, tvrdoća dijamanta.
 - Sive boje, oznaka C
 - Brušenje: sivi lijev, tvrdi metal, kamen

Zrnca umjetnog porijekla

- **Specijalni korund**, (elektrokorund)
 - Dobiva se iz boksita
 - Manje krhki i postojaniji kristali
 - Crvenkaste boje
 - Brušenje: žilaviji materijali, čelik, plastični materijali poput čelika

Vezivo

- Anorganska
 - Keramička, silikatna, magnezitna
 - Jeftinija
 - Niže brzine rezanja
- Organska
 - Bakelit, šelak, guma
 - Ekstremno visoke brzine rezanja
 - Ojačano fibrama

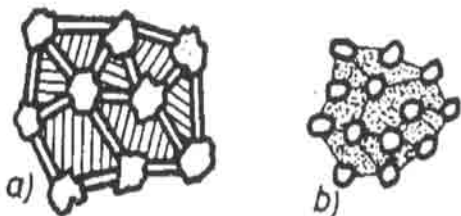
Oznake i stupnjevanje finoće zrnca brusova

Krupnoća zrna	Oznaka				
Jako gruba	8	10	12		
Gruba	14	16	20	24	
Srednja	30	36	46	54	60
Fina	70	80	90	100	120
Jako fina	180	200	220	240	
Prašina	280	320	400	500	600

Oznake tvrdoće brusa DIN 69100

Tvrdoća	Oznaka			
Vrlo meka	E	F	G	H
Meka	I	J	K	
Srednja	L	M	N	O
Tvrda	P	Q	R	S
Vrlo tvrda	T	U	V	W

Presjek brusa različite poroznosti



11.7.3. Brzine rezanja pri brušenju

Povećanjem brzine ⇨ Raste učinak brušenja
 Ograničenje ⇨ Čvrstoća veziva

- Mineralna veziva
 - Ručni posmak, max. 15 m/s
 - Automatski posmak, max. 25 m/s
- Keramičkim, silikatnim ili organskim vezivima
 - Ručni posmak, max. 25 m/s
 - Automatski posmak, max. 35 m/s

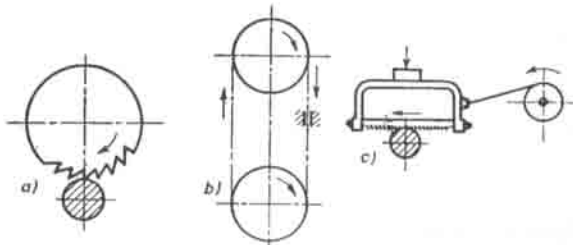
11.8. Piljenje

Upotrebljava se za odsijecanje i dijeljenje.

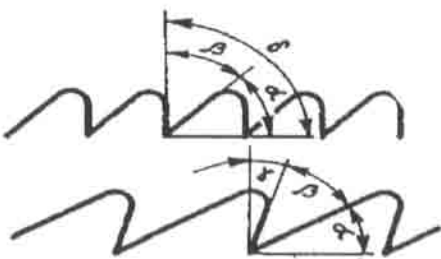
Podjela prema načinu gibanja alata:

- Pravocrtno
- Kružno

11.8.1. Alati za piljenje



Profil zuba pile



11.8.2. Brzine rezanja kod operacije piljenja

Brzina rezanja:

- ⇒ Vrijeme izloženosti rezanja
- ⇒ Veličina zupca
- ⇒ Veličina koraka
- ⇒ Hlađenje

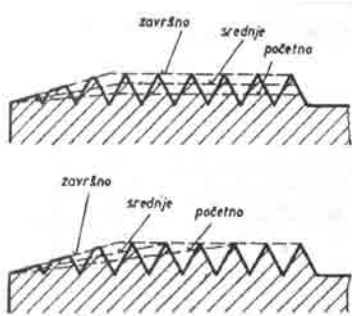
11.9. Izrada navoja i ozubljenja

11.9.1. Izrada navoja

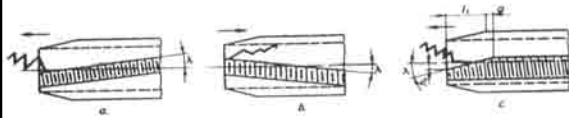
Postupci za izradu navoja:

- Izrada na tokarilici
- Ekscentrično rezanje navoja
- Izrada na bušilici
- Izrada na glodalici
- Izrada na brusilici
- Izrada češljastim noževima
- Uvaljivanje (veće serije)

Različite dužine početka navojnih svrdala



Smjer izlaska strugotine u ovisnosti o smjeru žljebova



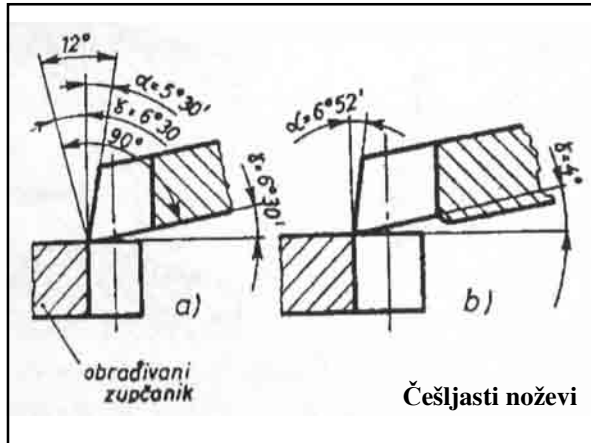
11.9.2. Postupci ozubljenja zupčanika

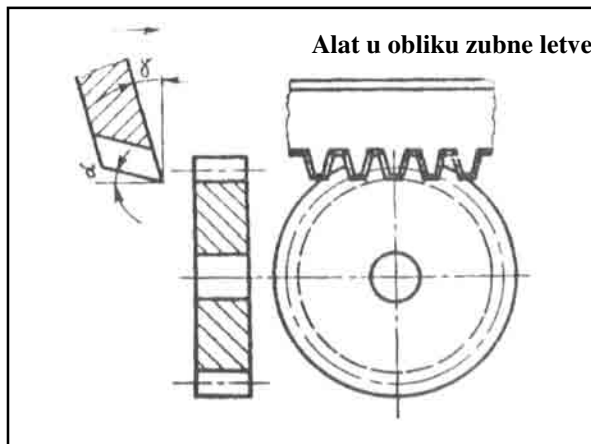
- Prvi zahvat:
 - Gruba obrada bokova
 - Korijen zupca
- Drugi zahvat:
 - Fina obrada bokova zupca

Izvođenje ozubljenja

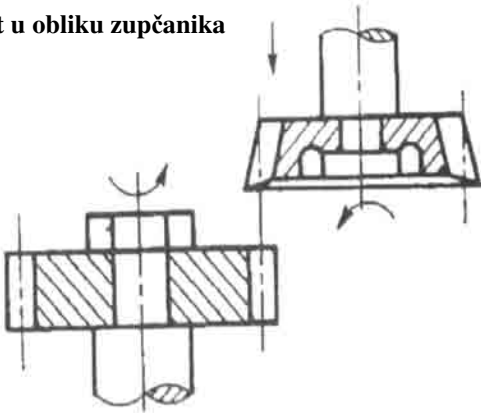
Postupci:

- *Ođvalna glodala*, postupak Pfauter
- *Češljasti noževi*, postupak Maag
- *Nož oblika zupčanika*, postupak Fellows
- *Profilno glodalo*, pojedinačno glodanje
 - *Vretenasta*, modul 10 do 100 mm,
 - *Koturasta*, nekorigirani profil, garnitura od 8,15 ili 26 glodala
- *Profilirani noževi*, izrada koničnih zupčanika i pužnih kola

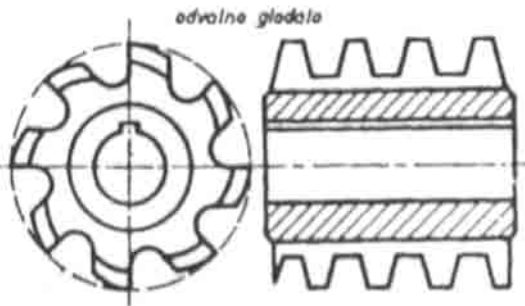




Alat u obliku zupčanika



Odvalno glodalo



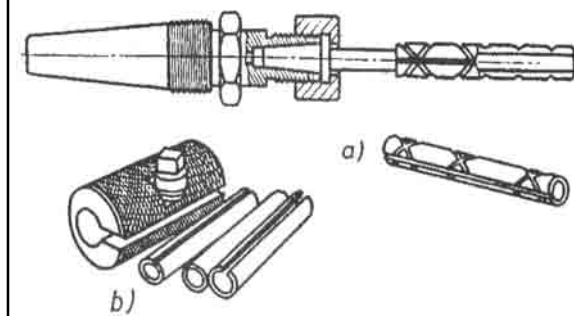
Vertikalno gibanje odvalnog glodala i dodatno gibanje zupčanika



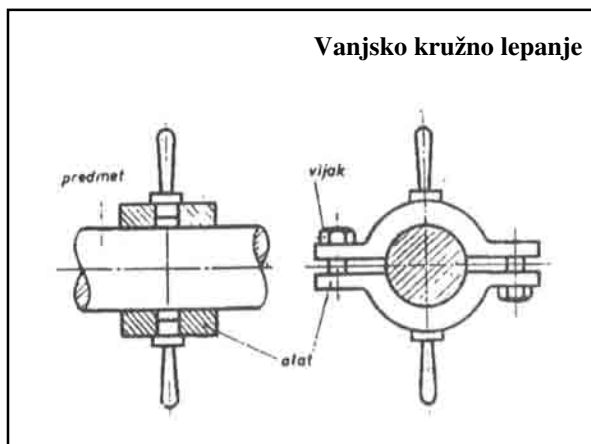
11.10. Lepanje

- *Postupak obrade*, fino brušenjem bez prisilnog relativnog gibanja obratka u odnosu na alat.
- *Brusno sredstvo*, premaz sitnih zrnaca kromovog oksida ili dijamanta pomiješanih s uljem, petrolejom, mašću ili benzolom.
- *Alat*, sivi lijev, bakar, legure bakra, bijeli metal, antimon i olovo.

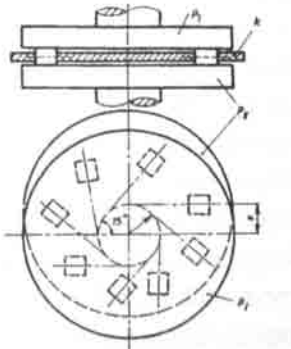
Alat za postupak lepanja



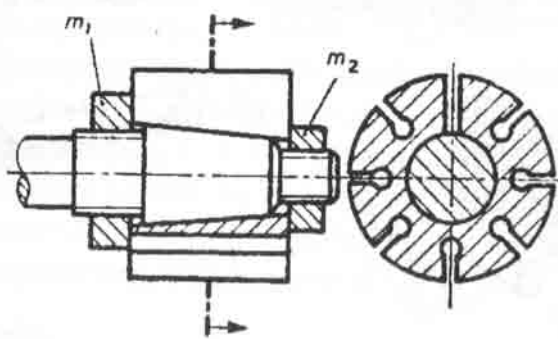
Vanjsko kružno lepanje



Lepanje između ploča



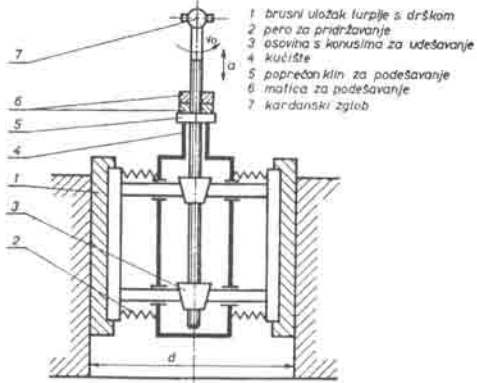
Trn s ekspanzivnom čahurom za unutarnje kružno lepanje



11.11. Honanje

- Honanje se koristi samo za otklanjanje mikrogeometrijskih greški obrade površine provrta pomoću samovodećih brusova.
- Postupak honanja vrši se po cijeloj površini istovremeno.

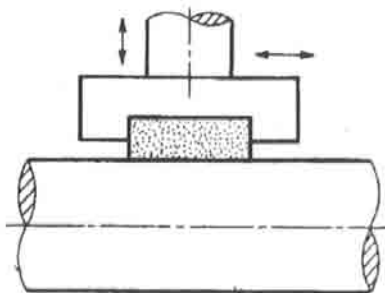
Konstrukcija naprave (alata) postupka honanja



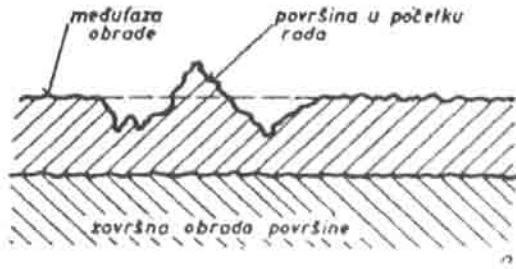
11.12. Superfinaš

- Postupak superfinaš, poput honanja, veći stupanj obrade.
- Postiže se dodatnim uzdužnim titrajima brusnih kamena.

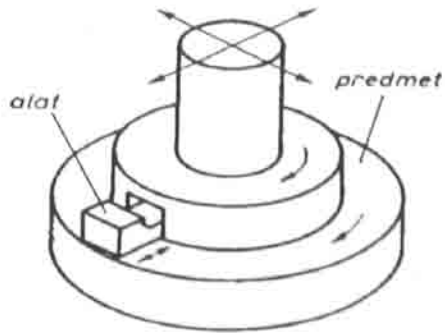
Hodovi kod superfinaš postupka obrade



Faze povećanja nosive površine kod superfiniš postupka obrade



Shematski prikaz strojnog honanja

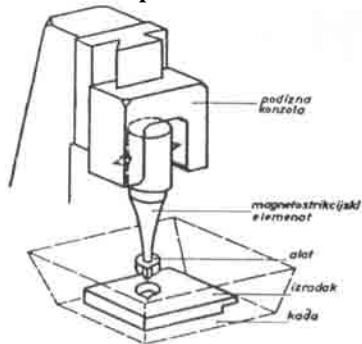


11.13. Specijalni postupci obrade

11.13.1. Ultrazvučna bušilica

- Konstruirana je tako da alat vibrira u smjeru vertikalne osi.
- Obradak i alat potopljeni su u kadi s mješavinom obične vode i abrazivnih zrnaca korunda.
- Visokofrekventnom (20000 Hz) vibracijom alata smještenog na vertikalnom suportu stvara se uzbuda.

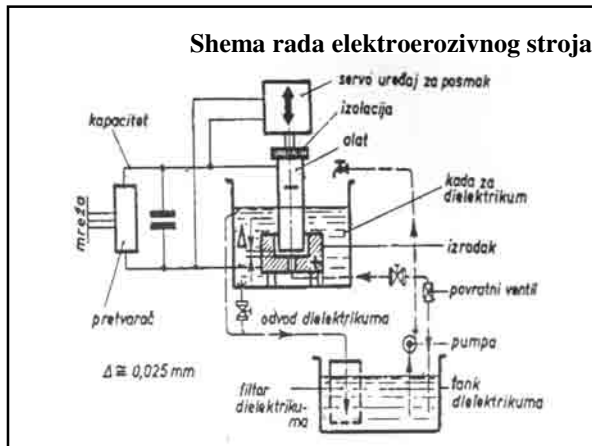
Osnovni sklopovi ultrazvučne bušilice

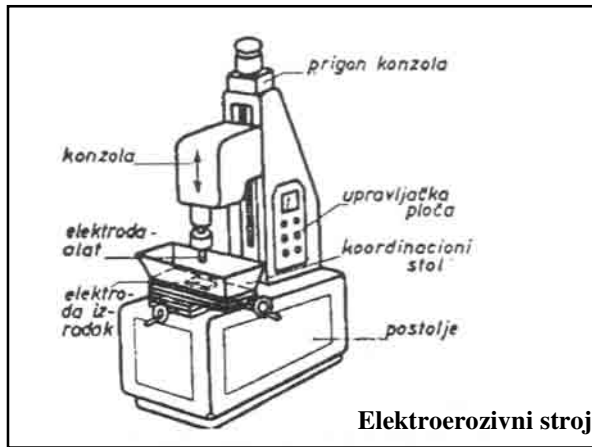


11.13.2. Elektroerozivni postupak obrade

- Najrasprostranjeniji oblik specijalne vrste obrade.
- Obradak i alat uronjeni su u dielektrikum i priključeni na izvor istosmjerne struje.
- Uvjet je da je materijal obrade vodič električne struje.

Shema rada elektroerozivnog stroja





Elektroerozivni stroj
