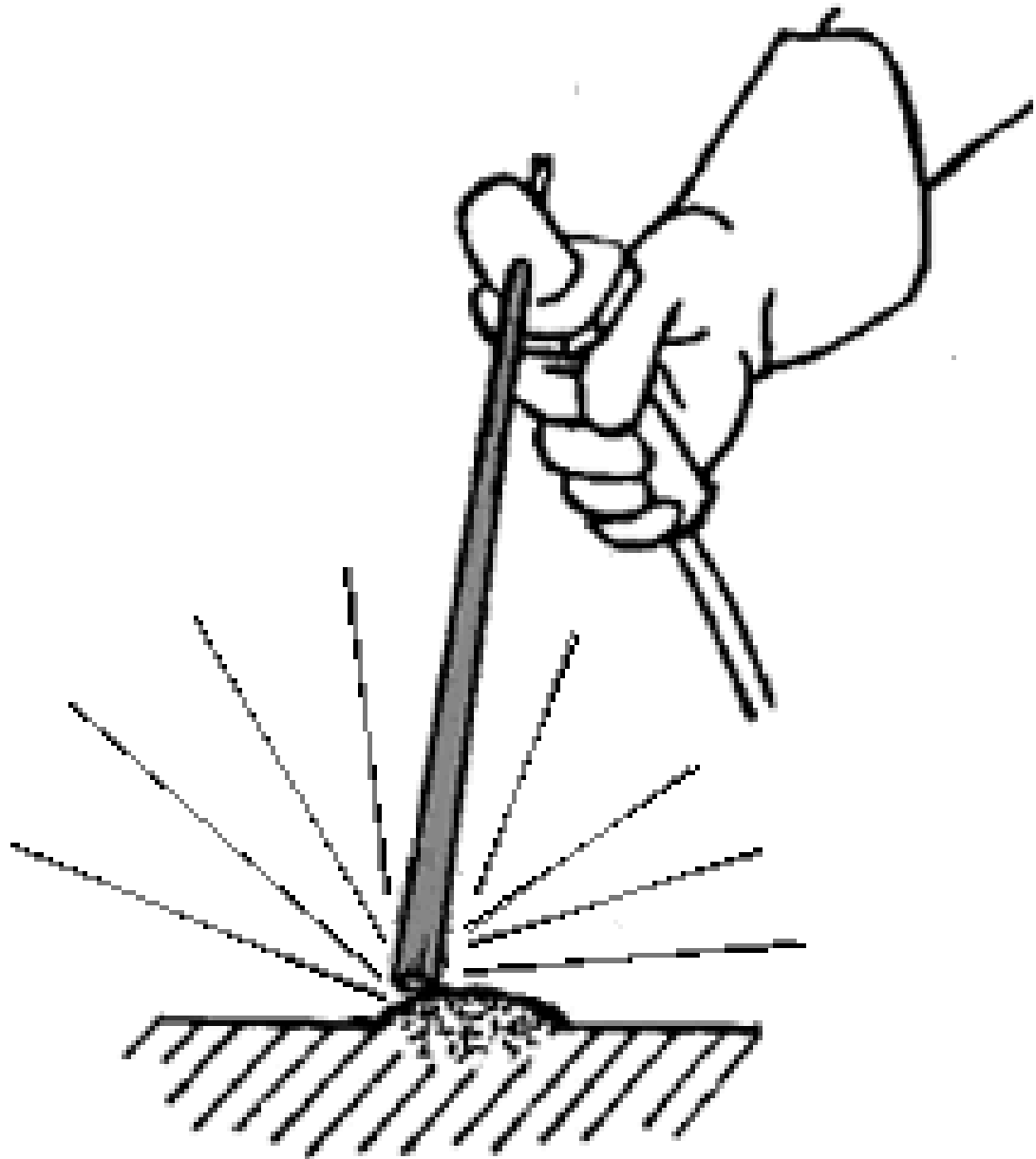


# OBRADA MATERIJALA I

2 . 4 . 18 .

zanimanje 010104 - strojarski tehničar



**II. dio**

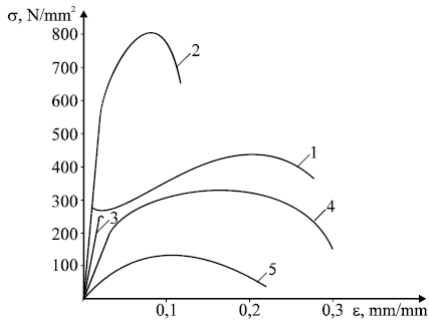
dipl. ing. strojarstva **Ivo Slade**

**SADRŽAJ** Obrada materijala I drugi dio

7.	Obrada deformacijom .....	4
7.1	Karakteristike obrade deformacijom .....	4
7.2	Podjela obrade materijala bez odvajanja čestica .....	6
7.3	Kovanje .....	6
7.3.1	Slobodno kovanje .....	7
7.3.2	Kovanje u ukovnjima .....	9
7.3.3	Strojevi za kovanje .....	10
7.3.4	Pitanja .....	11
7.4	Valjanje .....	
7.4.1	Valjanje .....	12
7.4.2	Valjaonički proizvodi .....	14
7.4.3	Valjaonički stanovi .....	15
7.4.4	Valjanje cijevi .....	18
7.4.5	Pitanja .....	21
7.5	Savijanje .....	22
7.5.1	Kutno savijanje lima .....	23
7.5.2	Profilno savijanje lima .....	25
7.5.3	Profili dobiveni hladnim valjanjem .....	26
7.5.4	Tlačenje lima na rotacionu šablonu .....	27
7.5.5	Formiranje oblika rastezanjem .....	28
7.5.6	Kružno savijanje lima .....	29
7.5.6.1	Savijanje s tri valjka .....	29
7.5.6.2	Savijanje s četiri valjka .....	30
7.5.7	Pitanja .....	31
7.6	Provlačenje	
7.7	Izvlačenje	
7.8		
7.9	Istiskivanje	
7.10	Sabijanje	
7.11	Utiskivanje	
7.12	duboko vučenje	

<b>8</b>	<b>Zavarivanje, lemljenje, lijepljenje</b>		
8.1	Lemljenje .....	4	
8.1.1	Spojevi kod lemljenja .....		23
8.1.2	Alati za ručno lemljenje .....		23
8.1.3	Pitanja .....		23
8.2	Zavarivanje .....	4	
8.2.1	Zavarljivost .....		23
8.2.2	Podjela zavarivanja .....		23
8.2.3	Plinsko zavarivanje.....		23
8.2.3.1	Načini spajanja .....		23
8.2.3.2	Siguran rad kod plinskog zavarivanja .....		23
8.2.3.3	Pitanja .....		23
8.2.2	Elektrolučno zavarivanje		
	REL		
	EPP		
	MIG		
	MAG		
	TIG.....		23
8.2.3	Elektrotopno zavarivanje		
	Točkasto		
	Tupo		
8.2.4	Specijalna zavarivanja		
8.3	Lijepljenje		
<b>9</b>	<b>Organizacija proizvodnje</b>		
9.2	Pregled organizacije proizvodnje		
9.3	Tehničko tehnološka dokumentacija		
9.4	Održavanje alata i strojeva		
<b>10</b>	<b>Literatura</b>		

## 7. Obrada deformacijom



1 - "meki" čelik ( $\alpha'+P$ )

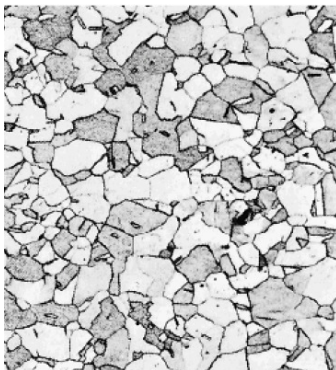
2 - "tvrdi" čelik ( $M, B$ )

3 - SL 25 - sivi lijev

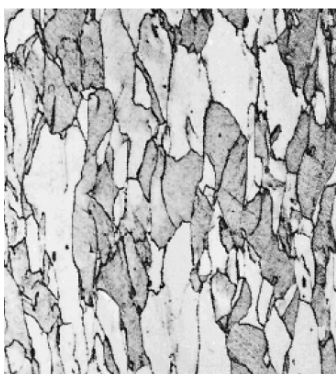
4 - CuZn40 - mjed

5 - Al 99,5 - tehnički  
čisti aluminij

Hookov dijagram za različite  
metale



Jača plastična deformacija  
rezultira produljenjem zrna uzduž  
smjera djelovanja primjenjenog  
naprezanja



Promjene u mikrostrukturi nakon  
plastične obrade

Obrada materijala je promjena oblika, dimenzija ili svojstava koja se može obaviti na dva načina:

- **Obrada odvajanjem čestica** – pri kojoj se otkidaju sitne čestice materijala kako bi se dobio novi proizvod drugih dimenzija, manjeg volumena i smanjene težine.

- **Obrada bez odvajanja čestica** - gdje se posrednim ili neposrednim djelovanjem vanjske sile sirovac preraduje u proizvod željena oblika i dimenzija. Može biti u toplom ili hladnom stanju. Volumen i težina novog proizvoda je ista kao i volumen i težina sirovca.

Tehnički postupci oblikovanja proizvoda obradom bez odvajanja čestica su zasnovani na svojstvu plastičnosti materijala.

### 7.1 Karakteristike obrade deformacijom

#### Plastična svojstva materijala

Vanjske sile koje djeluju na neko tijelo mijenjaju dimenzije i oblik tog tijela. Promjena oblika može biti elastična ili plastična tj. promjene se sastoje od povratnih ili elastičnih deformacija i nepovratnih ili plastičnih deformacija

Kod elastične promjene oblika, po prestanku djelovanja vanjske sile, obradak se vraća u prvobitni oblik – u tijelu su se pojavile elastične deformacije koje nestaju prestankom uzroka deformiranja.

Plastične deformacije uzrokuju promjenu izgleda obratka. Sile su tako velike da prelaze izdržljivost materijala i sirovac se počinje mijenjati. Materijal pod djelovanjem velike sile počinje „teći“ i dolazi do promjene oblika. Promjene oblika i dimenzija povezane su u mikrostrukturi materijala sa promjenom kristalita i kristalnih rešetaka, te zbog toga i promjena mehaničko fizičkih svojstava materijala

Sve te promjene ovise o:

- stupnju deformacije
- brzini deformacije
- temperaturi

Stupanj deformacije se prikazuje Hookeovim dijagramom gdje su:

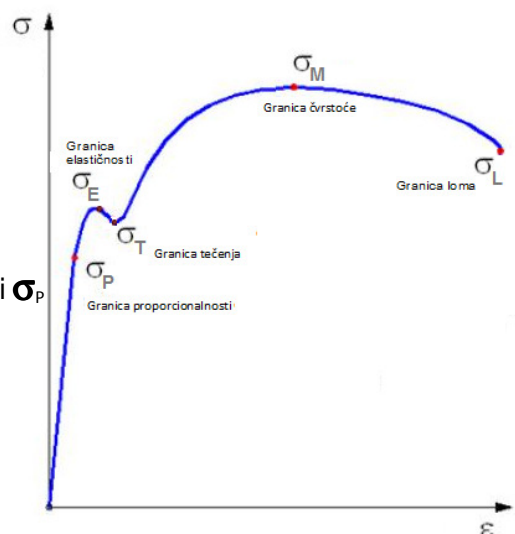
Granica proporcionalnosti  $\sigma_P$

Granica elastičnosti  $\sigma_E$

Granica tečenja  $\sigma_T$

Granica čvrstoće  $\sigma_M$

Granica loma  $\sigma_L$



Hookeov dijagram je konvencionalni dijagram rastezanja i sabijanja materijala

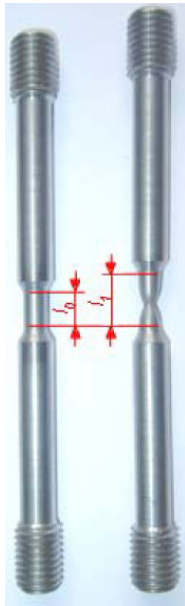
$$\sigma = E * \varepsilon$$

$\sigma$  - naprezanje (N/mm<sup>2</sup>)

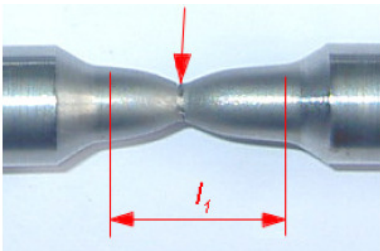
$E$  - Joungev modul elastičnosti

$\varepsilon$  - stupanj deformacije

$\varepsilon = (l_0 - l_1) / l_0$  stupanj deformacije (istezanja ili sabijanja)



Standardne epruvete za mjerenje vlačne čvrstoće



Kontraktcija (smanjenje) presjeka zbog maksimalne sile



Kidallica za ispitivanje vlačne čvrstoće

Ispitivanje materijala na rastezanje odnosno ispitivanje vlačne čvrstoće je osnovno mehaničko svojstvo na temelju kojeg se vrednuju materijali. Obavlja se na specijalno tokarenim epruvetama

Hookeov zakon vrijedi u području proporcionalnosti do  $\sigma_p$ . Nakon prestanka djelovanja sile materijal se vraća u prvobitno stanje.

Malo iznad granice proporcionalnosti nalazi se granica elastičnosti  $\sigma_E$  i predstavlja najviše naprezanje do kojeg se epruveta (materijal) ponaša elastično.

Granica tečenja  $\sigma_T$  je ono naprezanje kod kojeg se materijal počinje produljivati bez povećanja naprezanja.

Povećanjem sile naprezanje  $\sigma$  raste, deformacija  $\varepsilon$  se povećava i rezultat toga je očvršćenje materijala. To se dešava do  $\sigma_M$  granice čvrstoće odnosno to je naprezanje pri maksimalnoj sili – nije maksimalno naprezanje. Tada se naglo počinje epruveta produljivati i smanjivati presjek. Maksimalna sila pada, a naprezanje raste dok ne dođe do loma epruvete i maksimalno naprezanje se ovdje naziva lomno naprezanje  $\sigma_L$ .

**Brzina deformacije** je važna veličina koja utječe na obradu materijala prilikom plastične deformacije. Povećanjem brzine deformacije kod hladne deformacije dolazi do očvršćenja materijala. Posljedica toga je povećanje naprezanja kod tečenja materijala, veliki otpor deformiranju, i smanjenje deformabilnosti.

$$\varphi = \Delta\varepsilon / \Delta\tau = v_{al} / h$$

$\varphi$  – brzina deformacije

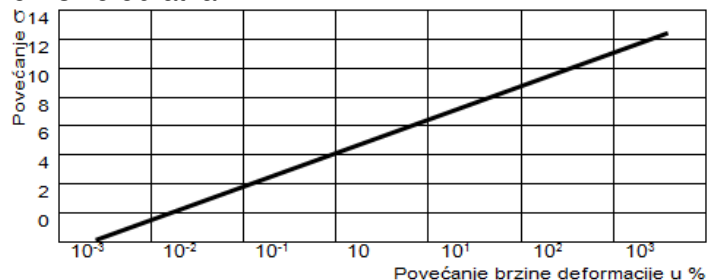
$\varepsilon$  - stupanj deformacije

$\tau$  - vremenski period

$v_{AL}$  – brzina alata

$h$  – visina (duljina) obratka

Brzina deformacije  $\varphi$  je kvocijent trenutne brzine alata  $v_{AL}$  i trenutne visine obratka  $h$ .



Ovisnost povećanja otpora deformaciji pri povećanju brzine deformacije

## 7.2 Obrada materijala bez odvajanja čestice



Kovačka vatra kod ručnog kovanja



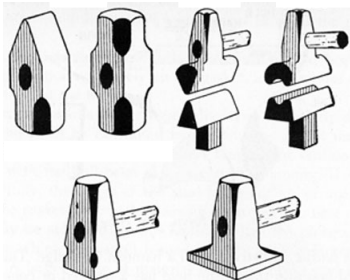
Mjeh za raspirivanje vatre



Kovački nakovanj



Kovački škripac



Čekić za kovanje - razne forme

Obrada bez odvajanja čestice ima više podskupina. Jedan od postupaka obrade materijala bez odvajanja čestice je plastična obrada materijala. Ona se može podijeliti prema postupku na slijedeći način (neki od postupaka):

- kovanje
- duboko vučenje
- valjanje
- savijanje
- provlačenje
- izvlačenje
- sabijanje
- prešanje
- utiskivanje
- istiskivanje .....

## 7.3 Kovanje

Kovanje je obrada materijala bez odvajanja čestice kod koje se promjena oblika i dimenzija vrši udarcima bata po otkivku koji je položen na nakovanj. Obrada je češće u toplom stanju, ali može biti i u hladnom stanju. Prema načini na koji se obavlja preoblikovanje postoji:

- Ručno kovanje
- Strojno kovanje

### Ručno kovanje

Ručno kovanje je postupak preoblikovanja materijala udarcima kovačkog čekića po otkivku. Otkivak se zagrije u kovačkoj vatri do bijelog sjaja. Kovačkim klještima se vadi iz vatre i polaže na nakovanj. Otkivak polako mijenja oblik i dimenzije pod udarcima čekića. Točnost dimenzija, oblika, kvaliteta proizvoda i količina ovise isključivo o preciznosti i iskustvu kovača.



### Strojno kovanje

Moderniji način kovanja omogućava kovanje od najmanjih otkivaka do ekstremno velikih. Dimenzije otkivka ovise samo o veličini stroja. Postupak može biti u toplom i hladnom stanju. Za kovanje u toplom stanju u procesu proizvodnje potrebne su i kovačke peći.

Ručno ili strojno kovanje može biti

- slobodno ili
- u ukovnjima

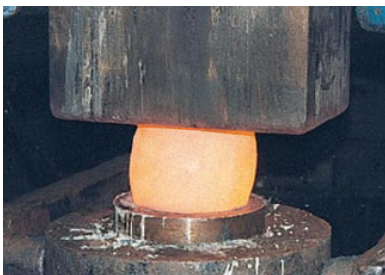
### 7.3.1 Slobodno kovanje



Slobodno kovanje u toplom stanju

se odvija bez primjene kalupa. Osnovne vrste slobodnog kovanja su:

- sabijanje
- iskivanje i raskivanje
- zasjecanje
- probijanje
- savijanje



Postupak sabijanja kovanjem



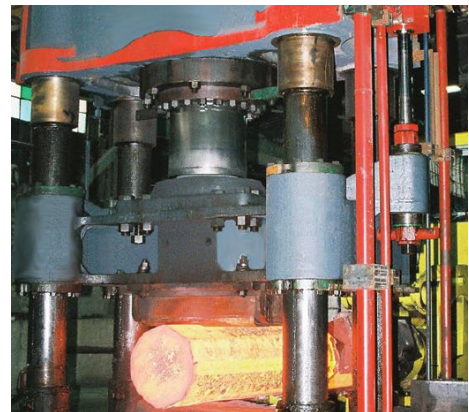
Slobodno kovanje bez kalupa - iskivanje



**1.1 Sabijanje** je postupak slobodnog kovanja kod kojeg se visina otkivka smanjuje a povećava baza. Uvjet je da omjer visine i promjera baze ne bude veći od 3 ( $h \leq 3d$ ) da ne dođe do izvijanja.

**1.2 Iskivanje i raskivanje** je smanjenje poprečnog presjeka u svrhu promjene duljine ili povećanje promjera i smanjenje debljine stijenke prstena. Slobodno kovanje bez kalupa- raskivanje prstenova.

Počinje sa najmanjim promjerom i najvećom debljinom stijenke te se nastavlja do postizanja potrebnog povećanog promjera sa znatno manjom debljinom stijenke.



Slobodno kovanje bez kalupa - iskivanje



Kovački stroj za slobodno raskivanje cijevi velikih promjera

**1.3 Zasjecanje** je izrada prizmatičnih utora u otkivku radi daljnjeg lakšeg odvajanja materijala



Zatvorena i otvorena limenka. Zasjecanjem je oslabljen materijal da se otvori na predviđenom mjestu



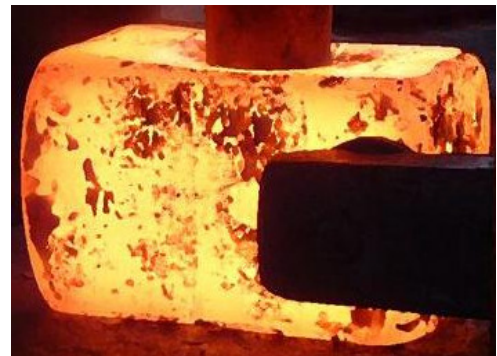
Zasjecanje površine skalpela radi lakšeg i pravilnog loma nakon zatupljenja



Veliki zasjeci dobiveni kovanjem



**1.4 Probijanje** kod kovanja je izrada rupe bilo kakvog oblika u otkivku.



Slobodno kovanje - probijena rupa u otkivcima



Batovi (alat) za probijanje otkivka

**1.5 Savijanje** je kod slobodnog kovanja najčešće primjenjeni postupak izrade otkivaka za velikoserijsku i masovnu proizvodnju.



Kovanje savijanjem u hladnom stanju

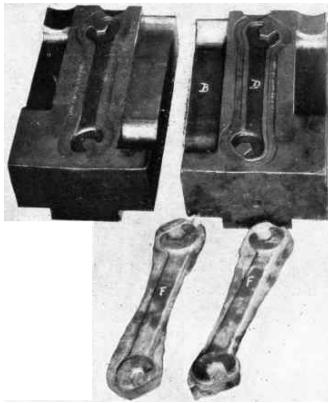


Kovanje savijanjem u toplom stanju

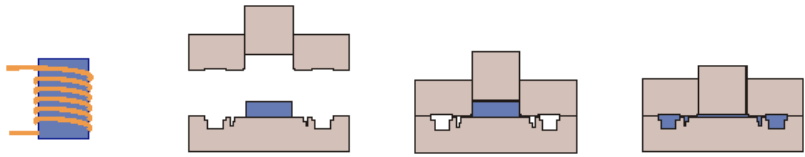




### 7.3.2 Kovanje u ukovnjima



Ukovanj za kovanje viljuškastog ključa sa otkivcima



Princip kovanja u ukovnjima sastoji se u nekoliko faza. Otkivak se najprije zagrije na potrebnu temperaturu, zatim se postavi u ukovanj. Nakon odaranja bata kovačkog stroja materijal se preoblikuje prema kalupnoj šupljini. Potrebno je točno odrediti volumen sirovca, kako ne bi došlo do pojave neispunjenja ukovnja. Ako postoji višak materijala, on se „prelije“ u slobodni prostor oko kalupne šupljine – nastaje srh koji se kasnije odvaja, ali garantira potpuno ispunjenje šupljine ukovnja

Kovanje u ukovnjima se dijeli na:

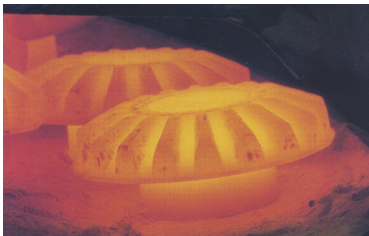
2.1 **jednofazne ukovnje** gdje se sirovac stavlja u ukovanj, bat udara te otkivak poprima završni izgled. Zo su jednostavniji otkivcu za čiju je izradu dovoljna jedna faza.



Otkivci izvađeni iz ukovnja



Vađenje otkivka iz jednofaznog ukovnja



Otkivci konusnih zupčanika

2.1 **višefazne ukovnje** gdje sirovac mijenja dvali više ukovanja kako bi poprimio završni izgled. Otkivci su komplicirani i zahtjeva se povećana točnost



Otkivci dobiveni hladnim kovanjem u ukovnjima



Sirovac , tri međufaze i konačni izgled otkivka (koljenasto vratilo)

### 7.3.3 Kovački strojevi

U osnovi se strojevi za kovanje dijele na:

- batove
- preše
- horizontalna kovačka preša

Batovi i preše se razlikuju u kinematici alata. Dok batovi udaraju o otkivak ili ukovanj velikom brzinom i mijenjaju oblik udarcima, dotle preše postepeno tlače otkivke (otpreske) ili ukovnje. Koji stroj će se upotrijebiti ovisi o karakteristikama materijala koji se obrađuje. Neki materijali podnose nagle promjene i brze udarce, dok drugi materijali pri takvoj obradi pucaju i nisu za daljnje korištenje. Ti materijali se moraju postepeno preoblikovati i podobni su za obradu prešama



Vertikalne hidrauličke preše sa dvoradnim cilindrom



Friksijska preša



Ekscentar preša

Prema izvedbi **batovi** mogu biti:

- mehančki
  - perni bat, polužni bat
  - bat na dasku, lanac, remen

perni bat



- pneumatski
  - jednoradni pneumatski bat
  - dvoradni pneumatski bat
  - protuudarni pneumatski bat

Jednoradni i dvoradni pneumatski bat



- i parni

Parni bat



**Preše** mogu biti:

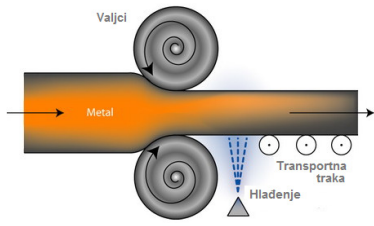
- mehaničke
  - tarne (friksijske)
  - koljenaste (ekscentar)
- hidrauličke

U današnje vrijeme pojavljuju se nove kombinacije batova i preša npr elektro hidraulički bat, visoko precizne preše,...

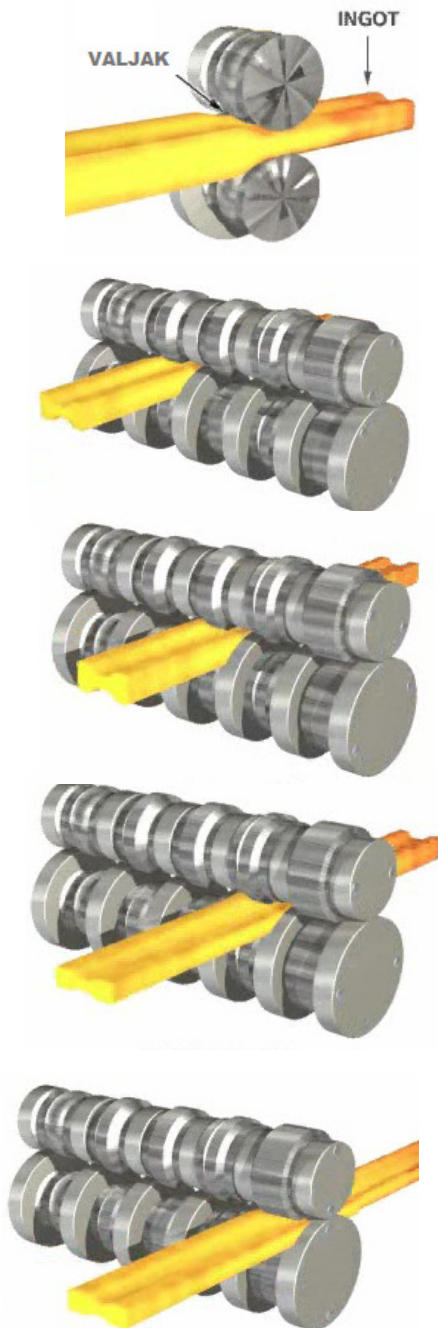
### 7.3.4 PITANJA

1. Što je obrada odvajanjem čestice ?
2. Što je obrada bez odvajanja čestice ?
3. Kakve se promjene odvijaju na obratku pod utjecajem vanjske sile ?
4. Što su plastične deformacije na obratku ?
5. Što su elastične deformacije na obratku ?
6. Što je Hookeov dijagram i što kazuje ?
7. Čemu služi vlačno ispitivanje materijala ?
8. Što je granica proporcionalnosti  $\sigma_p$  ?
9. Što je granica elastičnosti  $\sigma_E$  ?
10. Što je granica tečenja  $\sigma_T$  ?
11. Što je granica čvrstoće  $\sigma_M$  ?
12. Što je granica loma  $\sigma_L$  ?
13. Koji su parametri o kojima ovisi plastična deformacija ?
14. Što je kovanja ?
15. Kako se kovanje dijeli ?
16. Koji alati i naprave su potrebni kod ručnog kovanja ?
17. Koje se podvrste slobodnog kovanja ?
18. Što je sabijanje ?
19. Što je iskivanje, a što raskovanje ?
20. Što je zasjecanje ?
21. Što je probijanje ?
22. Što je savijanje ?
23. Kako se dijeli kovanje u ukovnjima ?
24. Kakvo je višefazno kovanje u ukovnjima ?
25. Koji su alati potrebni za strojno kovanje ?
26. Što su batovi ?
27. Što su preše ?
28. U čemu je razlika između batova i preša ?
29. Kakvih vrsta batova ima ?
30. Kako se dijele preše ?

## 7.4 Valjanje



Princip valjanja metala

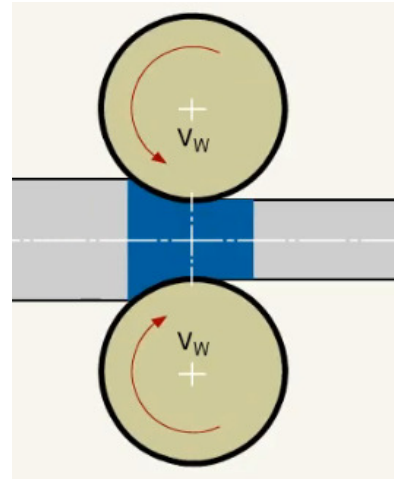


Reverzibilno valjanje profila u toplom stanju kroz profilne valke u 5 faza.

Od svih postupaka plastične deformacije, najveću primjenu ima valjanje. Postupak započinje valjanjem ingota u poluproizvode.

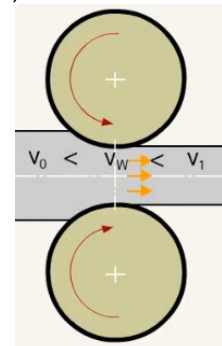
Valjanje je postupak oblikovanja metala deformiranjem kod kojega sirovac (ingot) prolazi između dva suprotno rotirajuća valjka. Time se smanjuje debljina obratka (presjek) i povećava duljina, odnosno daje mu se potrebni oblik. Tijekom valjanja također se obratku poboljšavaju mehanička svojstva.

Dok obradak prolazi između valjaka dolazi do deformiranja materijala. U zoni deformacije materijal ne prolazi svugdje istom brzinom kojom rotiraju valjci. Obodna brzina valjka može biti veća, ista ili sporija od brzine prolaza materijala u zoni deformacije.



Ovisno da li se valja u hladnom ili toplom stanju zona deformacije se sastoji (u hladnom stanju) od

- Zone zaostajanja – gdje je brzina prolaza materijala  $V_0 < V_w$  manja od obodne brzine valjka
- Neutralne ravnine – brzina prolaza materijala između valjaka  $V_w = V_w$  jednaka je obodnoj brzini valjka
- Zone pretjecanja – brzina prolaza materijala je veća  $V_1 > V_w$  od obodne brzine valjaka



Kod valjanja u toplom stanju pojavljuje se umjesto neutralne ravnine zona ljepljenja – zona u kojoj se zagrijani obradak zalijepi za valjak. Tu je brzina tečenja materijala između valjaka jednak obodnoj brzini valjka



Valjanje trake u toplom stanju kroz duo valjke



Poprečno valjanje (navoja)

Valjati se može u **toplom** i **hladnom** stanju.

- Materijali većeg presjeka valjaju se pretežno u toplom stanju, zbog veće plastičnosti i mogućnosti puno većih redukcija presjeka, te manjih sila i manjeg utroška rada

- Materijali manjeg presjeka valjaju se pretežno u hladnom stanju, jer se postiže glađa površina, uža tolerancija i veća tvrdoća materijala.

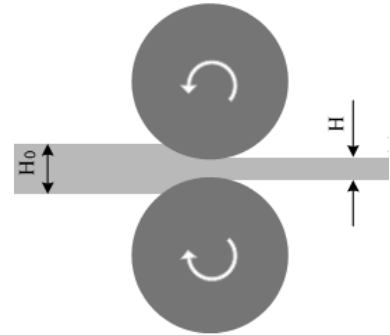


Poprečno profilno valjanje

Valjanje se može podijeliti na više načina.

Postupci valjanja - podjela prema ulazu obratka među valjke:

- **Uzdužno** valjanje - kod kojeg sirovac ulazi među suprotno rotirajuće valjke. Ovim se postupkom smanjuje visina, a povećava duljina obratka. Presjek obratka daje razmak između valjaka (kalibrira se). Stupanj redukcije se definira izrazom:

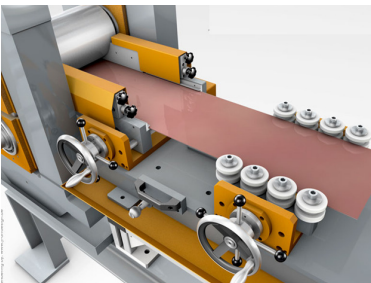
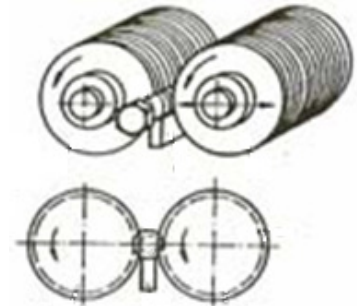


$$R = 100\% * (H - H_0)/H_0$$



Poprečno valjanje zupčanika

- **Poprečno** valjanje – kod kojeg se valjci okreću u istom smjeru, a obradak se posebnom napravom drži u zahvatu. Sama plastična deformacija nastaje na obodu obratka uzduž osi rotacije. Poprečnim valjanjem proizvode se rotacijski profili.

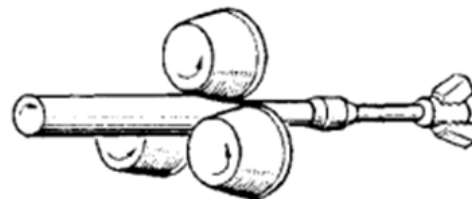


Uzdužno valjanje lima

- **Koso** valjanje – kod kojeg osi profilnih valjaka stoje pod nekim kutom. Svi valjci se rotiraju u istom smjeru i sirovcu daju rotaciju oko njegove osi.



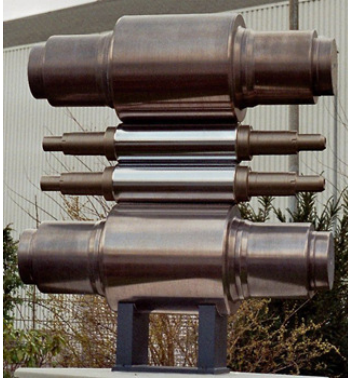
Uzdužno valjanje slaba



Profilni kosi (stožasti) valjci

### 7.4.1 Valjci su alati za valjanje i dijele se na :

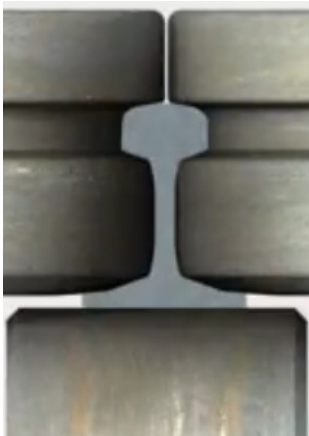
- **ravne valjke** za limove, ploče, trake, ....



Valjci za uzdužno valjanje - kvatro

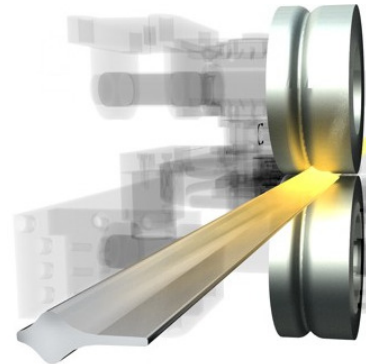


Sistem profilnih valjaka za višefazno valjanje šina



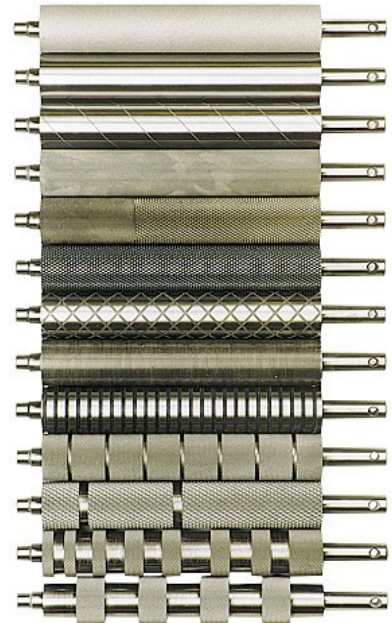
- **profilne valjke**

Valja se željeni oblik u jednom prolazu ili u više faza (prolaza).

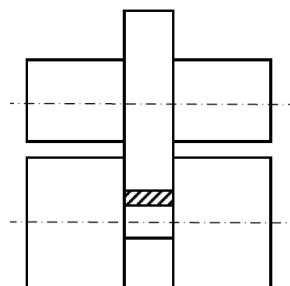


- **valjke sa gravurom**

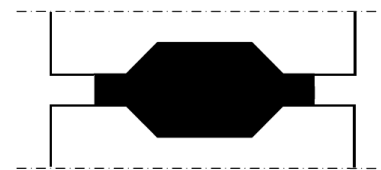
Jedna strana obratka može imati gravuru – ispupčenu ili upuštenu, dok je druga strana obratka ravna, sa gravurom istom ili različitom



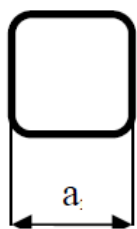
- **kalibar valjke**



Par valjaka - zatvoreni kalibar gdje nije dopušteno istjecanje materijala

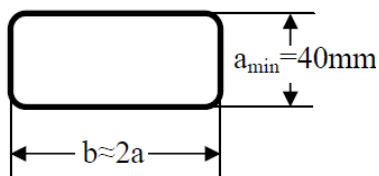
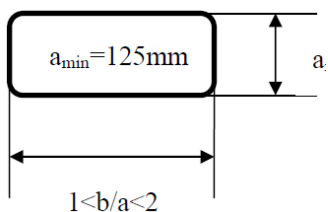


Par valjaka - otvoreni kalibar gdje je dopušteno istjecanje materijala

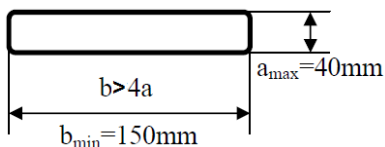


$a=150-400\text{mm}$

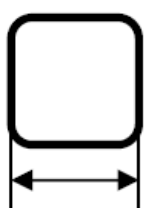
**BLUM**



**SLAB**



**PLATINA**



$50 < a < 125$

**KVADRATNA GREDICA**



Metalne trake namotane u rolu

## 7.4.2 Valjaonički proizvodi

Valjanjem se proizvode limovi, trake, folije, šipke, profili, cijevi, ..

Osnovna podjela valjaoničkih proizvoda:

### - limovi

Mogu se valjati u hladnom ili toplom stanju

- tanki debljine do 3 mm
- srednji debljine od 3 – 4.75 mm
- debeli debljine preko 5 mm

Podvrsta limova su folije debljine 0.1 mm, 0.01 mm, 0.007 mm folije za domaćinstvo, 0.005 mm, te 0.002 mm zlatne folije.

### - poluproizvodi

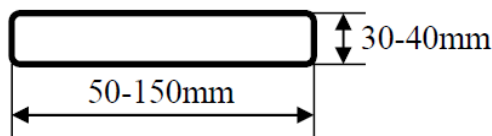
- **BLUM** je proizvod kvadratnog ili pravokutnog oblika nepravilnih površina, zaobljenih bridova dimenzija stranica  $a > 125\text{mm}$  i odnos  $a : b = 1 : 1$  do  $1 : 2$

- **SLAB** je proizvod pravokutnog oblika najmanje dimenzije stranica  $a > 40\text{mm}$  i odnos  $a : b > 1 : 2$

- **PLATINA** je proizvod pravokutnog presjeka najveće debljine 40 mm, a najmanje širine 150 mm. Širina platine mora biti najmanje 4 puta veća od debljine. Iz platina se dalje valjaju tanki limovi. stranica  $a < 40\text{mm}$  i odnos  $a : b > 1 : 4$

- **KVADRATNE GREDICE** su proizvodi različitih dimenzija stranica od 50 do 125 mm

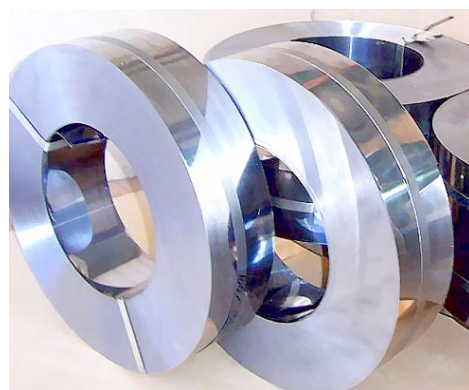
- **PLOSNATE GREDICE** su proizvodi pravokutnog presjeka debljine od 30 – 40 mm i širine 50 – 100 mm



**PLOSNATNA GREDICA**

### - trake

su proizvodi koji se izrađuju u različitim dimenzijama Širine mogu prelaziti i 600 mm Debljine traka variraju od 0.08 mm do 5 mm





Vruće valjani okrugli profili

**- profili**

se izrađuju u različitim presjecima

- okrugli promjera od 6 do 125 mm
- kvadratni sa stranicom od 8 do 125 mm



Valjani kvadratni profili



Pravokutni plosnati profil

- pravokutni se javlja u više oblika

- plosnati
- široki plosnati
- trakasti



Trakasti pravokutni profil



Šesterokutni profil

- šesterokutni

se valja u dimenzijama viljuškastog ključa od 10 do 80 mm

- L profili
- T profili
- U profili
- Omega profili
- I nosači
- specijalni profili



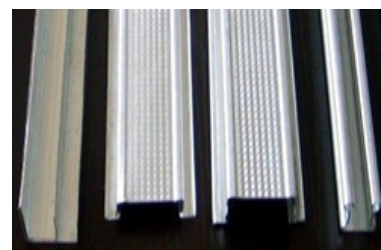
I nosači



L profil



Specijalni profili







Postrojenje za proizvodnju žice

**- žice**

Nastaje kao finalni proizvod toplo valjanog okruglog profila. Krajnji oblik postiže se provlačenjem

Žice se dijele prema promjeru na:

- finu promjera od 0.1 do 1 mm
- tanku promjera od 1.2 do 1.8 mm
- srednju promjera od 2 do 4.6 mm
- debelu promjera od 5 do 14 mm



Žice od kojih se izrađuju elektrode za zavarivanje

**7.4.3 Valjaonički stanovi**

Valjaonički stanovi ili strojevi za valjanje razlikuju se po broju valjaka, smještaju valjaka, smjeru vrtnje i namjeni.

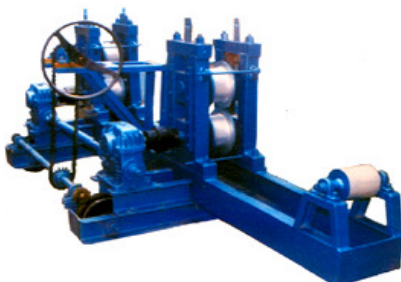
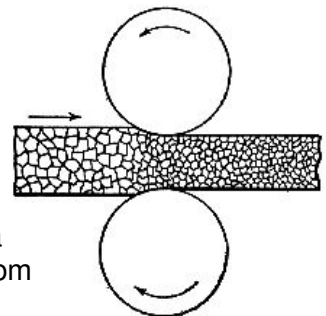
**DUO** valjaonički stanovi

Imaju dva valjka koji mogu biti po smjeru vrtnje:

- povratni (reverzibilni) ili
- nepovratni (ireverzibilni)

Oba valjka su gonjena, odnosno u prigonu se pogonsko vratilo dijeli na dva vratila koja se okreću u suprotnom smjeru i spojena su na valjke.

Valjanje duo valjcima je isključivo u toplom stanju



DUO valjaonički stan

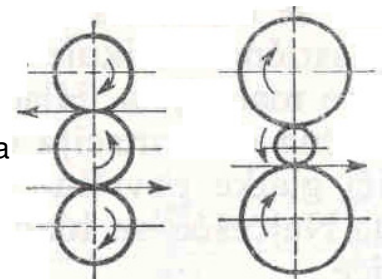
**TRIO** valjaonički stanovi

Imaju tri valjka koji mogu biti:

- sva tri valjka istog promjera
- srednji valjak manjeg promjera

Pogonski valjci su vanjski.

Ako je srednji valjak manjeg promjera onda valjaonički stan valja limove

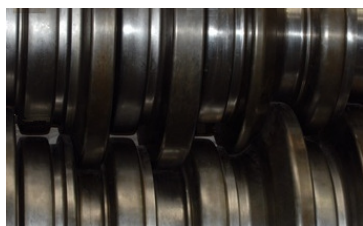
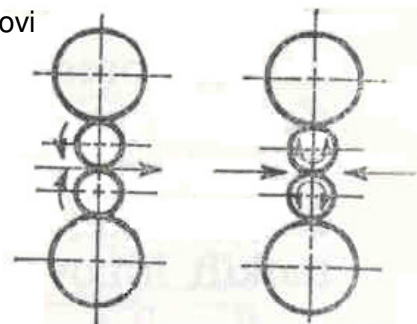


TRIO valjaonički stan

**KVATRO** valjaonički stanovi

Imaju dva para valjaka.

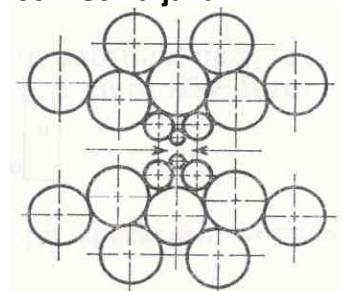
Vanjski par su veći valjci, koji služe za smanjenje progiba. Unutarnji valjci su pogonski, mogu biti povratni . reverzibilni ili nepovratni – ireverzibilni. Služe za valjanje limova



Kalibar valjci

Valjaonički stanovi sa sistemom od **više valjaka**

Valjaju se limovi i folije u hladnom stanju. Pogonski valjci su unutarnji par valjaka, dok svi ostali služe za smanjenje progiba i što točnije i preciznije valjanje.



### 7.4.4 Valjanje cijevi

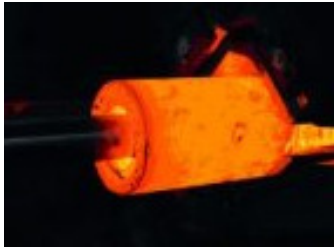


Mannesmannov postupak izrade cijevnice

Cijevi se dijele na šavne i bešavne cijevi i prema tome se dijele i načini njihove proizvodnje.

**Bešavne cijevi** - služe za veća opterećenja, imaju bolja mehanička svojstva i visok stupanj sigurnosti. Njihova proizvodnja se dijeli u dvije faze:

- proizvodnje tzv cijevnice
- valjanje cijevnice u konačni oblik cijevi



Erhardtov postupak izrade cijevnice utiskivanjem trna

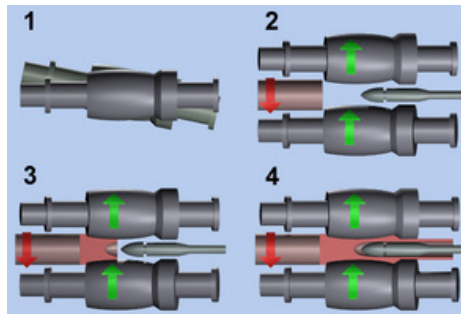
Nakon izrade cijevi slijede završni postupci: kalibriranje na točne završne mjere, davanje glatkoće površine - unutarnje i vanjske, redukcija ili povećavanje promjera cijevi, ravnanje, savijanje,.....

**Cijevnica** se izrađuje:

- **Mannesmannovim postupkom** - bušenjem usijanog sirovca u rotirajući trupac pomoću valjaka konusnog ili glijivastog oblika i trna.



Konusni valjci za valjanje bešavnih cijevi

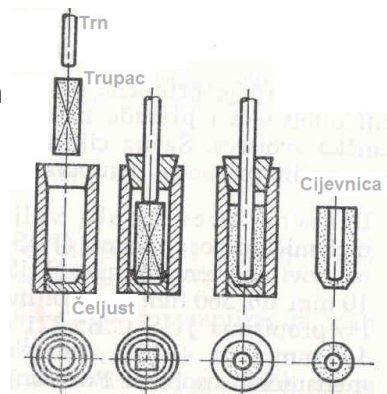


1. Cross-procesa valjanja (tlocrtni pogled na raspored valjaka)
2. početak procesa valjanja
3. Ulaz obratka u zahvat valjaka

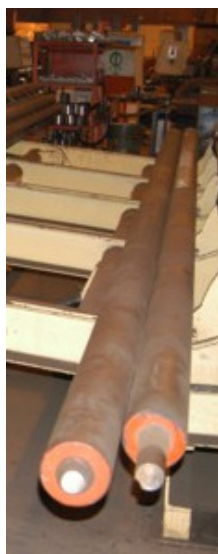
4. ulaz trna u obradak i izrada cijevnice – (pre-role na trn)

- **Erhardtovim postupkom** utiskivanjem trna u usijani trupac koji je uklješten u čeljusti (blok).

1. Trupac se umeće u čeljust (blok)
2. Čeljust se zatvara i kroz zatvarač prolazi trn



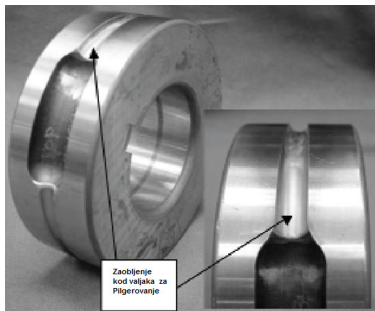
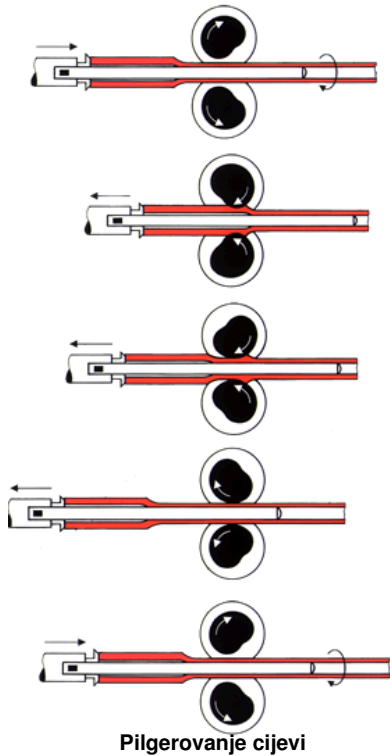
3. Trn se utiskuje u usijani trupac i stvara rupu u trupcu – proizvodi se cijevnica



Cijevnice na trnu

Proizvodnja bešavnih cijevi u toplom stanju

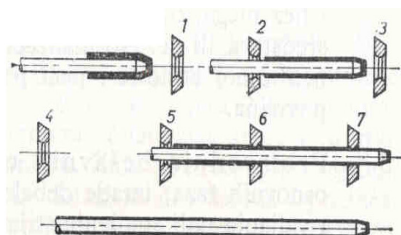




**Valljci za pilgerovanje cijevi**



**Valjci za kontinuirano valjanje cijevi**



**Postupak provlačenja boce na trnu kroz 7 matrica**

**Proizvodnja bešavnih cijevi** iz cijevnice nastavlja se na jedan od slijedećih načina:

**- Pilgerovanje cijevi**

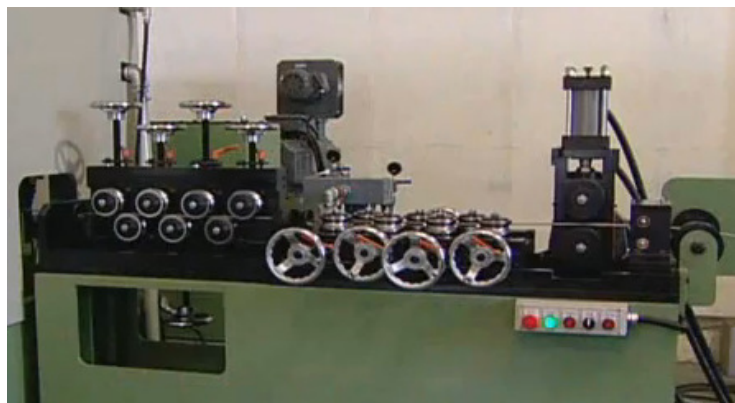
U cijevnicu se umetne trn. Cijevnica se s trnom postavi između posebno kalibriranih valjaka. Valjci se rotiraju i zahvate dio cijevi. Po zahvatu dijela cijevi počinje valjanje samo tog dijela u cijev sa manjom stijenkom. Nakon završetka valjanja dijelac cijevi ona se pomiče za potreban korak te ponovno dolazi do zahvata.

Postupak se ponavlja dok cijela cijevnica ne bude razvaljana. Nedostatak je teško vađenje trnova po završetku valjanja



**- Kontinuirani postupak valjanja cijevi**

U cijevnicu se umetne trn. Cijevnica prolazi kroz 7 - 9 pari kalibriranih valjaka, koji su postavljeni naizmjenice sa horizontalnim i vertikalnim osima zbog smanjenja nadebljnja koja nastaju na mjestima sastajanja valjaka.



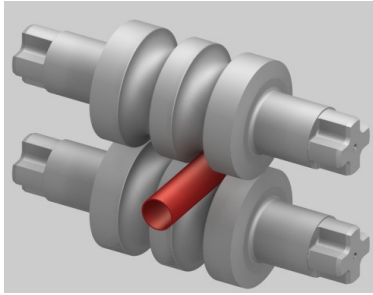
Prednost ovog postupka je velika produktivnost i velika radna brzina

**- Erhardtov postupak izrade cijevi**

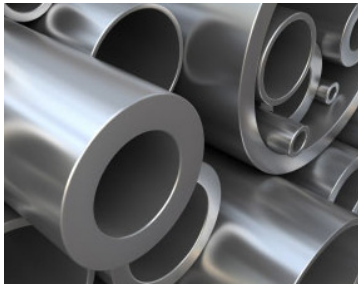
Deblje cijevi se stanjuju u toplom stanju provlačenjem kroz sistem matrica dok je u njima trn.

## Proizvodnja šavnih cijevi

Šavne cijevi služe za niskotlačne instalacije. Proizvode se u hladnom (cijevi tankih stjenki) i toplom stanju (debelostjene cijevi). Proces ima dvije faze – postepeno savijanje metalne trake u cijev kroz sistem kalibriranih valjaka te zavarivanje rubova. Nakon ovih dviju glavnih faza može se nastaviti sa kalibriranjem, ravnanjem, radukcijom profila ili povećanjem promjera.....



Izrada bešavne cijevi



Bešavna cijev



Valjaonički stan za izradu šavnih cijevi

Proces proizvodnje započinje odmatanjem limene trake s bale i uvlačenjem u valjaonički stroj.



Šavna cijev s ravnim uzdužnim šavom



Izrada šavne cijevi sa spiralnim šavom

Postepenim preoblikovanjem na profilnim valjcima traka poprima izgled cijevi.



Zavarivanje spojnog mjesta.



Šavna cijev sa spiralnim šavom

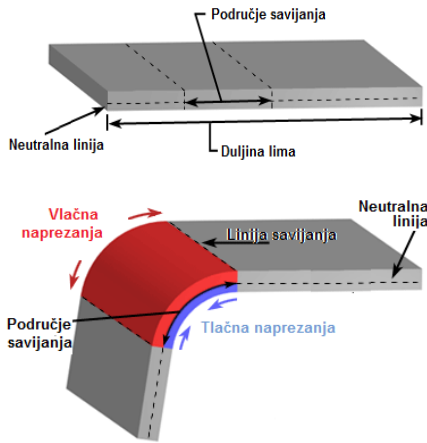
Rezanje na potrebnu duljinu



#### 7.4.5 PITANJA

1. Što je valjanje ?
2. U kakvom je stanju obradak dok se valja?
3. Kakve se deformacije odvijaju u obratku dok je u zahvatu između valjaka ?
4. Koje zone postoje u valjanom obratku dok je između valjaka ?
5. Koja je razlika između neutralne ravnine i zine ljepljenja ?
6. Koja je razlika u zonama kod valjanja u toplom i hladnom stanju ?
7. Koji se materijali valjaju u toplom , a koji u hladnom stanju ?
8. Kako se dijeli valjanje ?
9. Objasniti uzdužno valjanje .
10. Objasniti poprečno valjanje .
11. Objasniti koso valjanje .
12. Kako se dijele valjci ?
13. Čemu služe ravni valjci ?
14. Što se valja profilnim valjcima ?
15. Koje su osnovne vrste poluproizvoda dobivene valjanjem ?
16. Kako se dijele limovi dobiveni valjanjem u hladnom ili toplom stanju ?
17. Kako se proizvode žice i kako se dijele ?
18. Kakvi se sve profili valjaju ?
19. Kako se dijele valjaonički stanovi ?
20. Objasniti DUO valjaonički stan .
21. Objasniti TRIO valjaonički stan .
22. Objasniti KVATRO valjaonički stan .
23. Objasniti valjaonički stan sa sistemom od više pari valjaka.
24. Kako se dijeli valjanje cijevi ?
25. Kako se valjaju bešavne cijevi ?
26. Što je cijevnica i kako se izrađuje ?
27. Koja je razlika između Mannesmannovog i Erhardtovog postupka izrade cijevnce ?
28. Što je pilgerovanje cijevi ?
29. Kako se valjaju šavne cijevi sa uzdužnim, a kako sa spiralnim šavom ?
30. Koja je zadnja operacija kod izrade šavnih cijevi nakon zavarivanja ?

## 7.5 Savijanje



Postupak savijanja lima – napreznja na tlak i vlak



Nosač (npr. police) od savinutog lima



Savinuti vijci



Savinute kukice

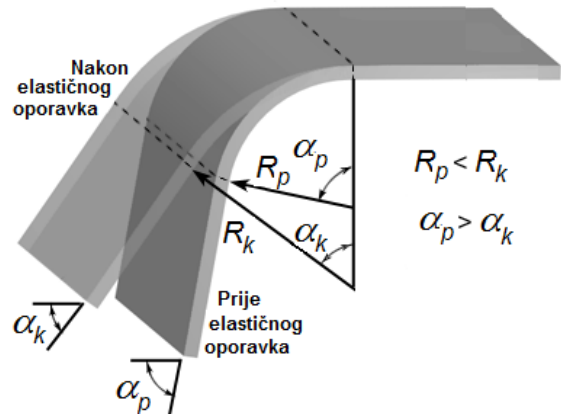
Savijanje spada u grupu postupaka oblikovanja deformiranjem koji se najčešće primjenjuju. Pretežno se savija u hladnom stanju, ali debele limove se savija u toplom stanju. Predmeti koji se savijaju mogu biti vrlo mali (npr. nosači, graničnici, čavli) ili izrazito veliki (do 20-ak metara u dužinu – ograde, podvozja, dijelovi broda).

Savijanje se postupak obrade metala bez skidanja strugotine – deformacijom obratka pod određenim kutom u novi oblik. Kod toga se u poprečnom presjeku unutrašnji dio skraćuje i opterećen je na tlak, dok se vanjski dio produljuje i opterećen je na vlak. Između područja tlaka i vlaka nalazi se neutralna linija.

Kako je obradak za vrijeme savijanja podvrgnut i elastičnim i plastičnim napreznjama po prestanku djelovanja vanjskih sila savijanja obradak:

- zbog djelovanja plastičnih sila poprimi novi željeni oblik, a
- zbog prestanka elastičnih napreznja, malo se povrti (raširi).

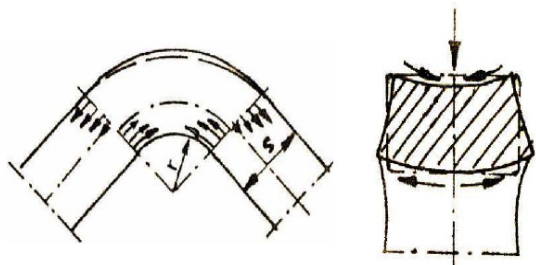
Zbog elastičnog oporavka, potrebno je više savinuti lim, kako bi postigli željeni polumjer i kut savijanja. Konačni radijus savijanja biti će veći od prvotno formiranog, a konačni kut će biti manji

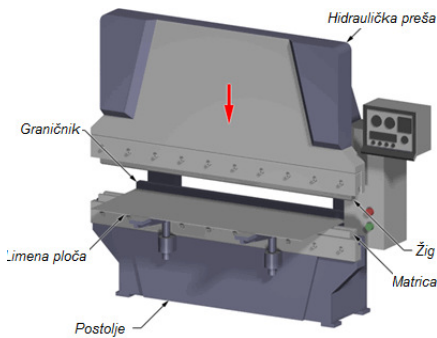


Na neutralnoj liniji nema promjena oblika, duljine ni napetosti te ona ostaje nepromijenjena – konstantna.

Zbog deformacija po uzdužnom presjeku obratka, dolazi i do promjene oblika profila, odnosno po presjeku okomitom na savijanje.

Na unutarnjem radijusu savijanja obradak se širi, dok se po vanjskom radijusu savijanja skuplja.





Hidraulička preša

Savijanje lima se dijeli na:

- savijanje pod kutom – odnosno oštrokutno
- profilno savijanje
- kružno savijanje

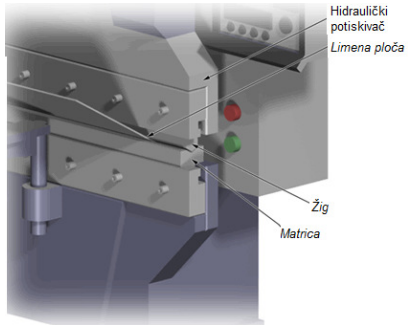
### 7.5.1 Kutno savijanje lima

Savijanje se obično izvodi na hidrauličkim prešama. Raspon pritiska takvih preša se kreće od 20 do 200 tona. Upravljanje može biti ručno ili automatsko. Alat se sastoji od dva dijela:

1. gornji je pomičan – žig
2. donji je fiksni - matrica

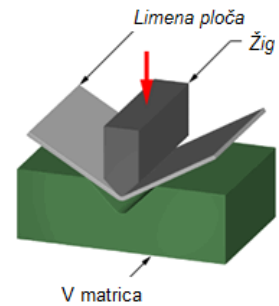
Između se postavlja lim i pažljivo pozicionira do graničnika. Udaranjem žiga o lim i daljnjim pritiskivanjem na matricu, lim poprima novi oblik. Kontrolom dubine savijanja (koliko žig ulazi u matricu) definira se kut savijanja.

Na standardnim prešama sa standardnim alatima postoje različite tehnike savijanja.



Noslač- proizvod nakon 3 kutna savijanja i bušenja

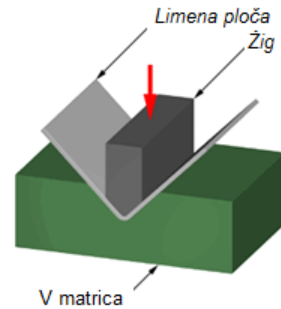
Najčešći oblik savijanja je V profil. Alat – žig tlači limeni obradak gurajući ga u matricu. Time se uzrokuje savijanje. Ovisno o dubini savijanja smanjuje se radijus savijanja. Alat može samo djelomično ući u matricu i završiti sa savijanjem – kontrolom dubine određuje *slobodno kutno savijanje*



Postupak kutnog savijanja



Zakretno savijanje

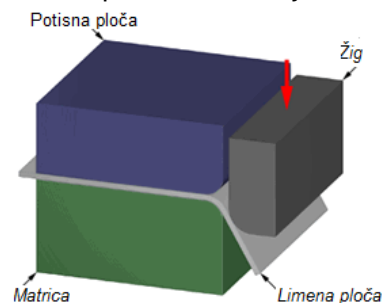


Ako se savijanje nastavlja do maksimalne dubine i postiže se potpuno nasjedanje alat na lim te lim na matricu dolazi do *potpunog oštrokutnog savijanja*.

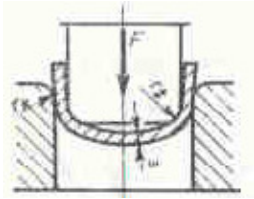
Kod potpunog savijanja bolja je kontrola kuta savijanja i manje je povrat zbog elastičnog naprezanja. Nedostaci su veća potrebna snaga

stroja i veći pritisci.

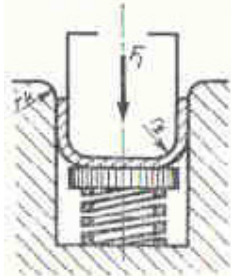
Drugi način savijanja V profila je **zakretno**. Lim je potrebno postaviti između matrice i potisne ploče. Dio koji izlazi između alata se mora precizno izmjeriti. Tada žig tlači i savija limeni dio koji viri iz držača. Radijus zaobljenja će se odrediti prema radijusu ruba matrice.



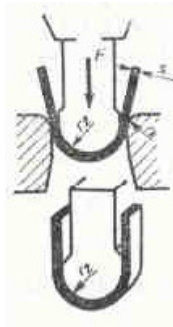
Osim kutnog savijanja V profila na prešama se često savija i U profil.



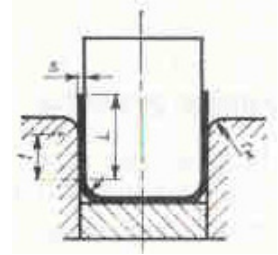
Savijanje U profila manje preciznosti



Savijanje U profila veće preciznosti



Kod savijanja tanjih limova koriste se dva postupka  
Savijanje se može obaviti u otvorenom kalupu ako se zahtjeva manja preciznost.  
Kod veće preciznosti koriste se tzv. zatvoreni kalupi s izbacivačem

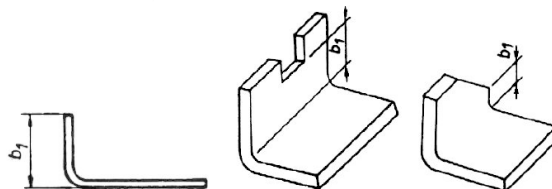


Kod savijanja debljih limova postupak zahtjeva jake preše te se najčešće odvija u toplom stanju  
Svi profili su sandardizirani i omjeri radijusa satijanja, debljine lima i duljine krakova nalaze se u tablici

Savijanje U profila velikog radijusa

Polunjer savijanja $r$ (mm)	Debljina lima $\delta$ (mm)											
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4											
1,6	4	6										
2,5	6	6	8	8								
4	8	8	8	10	10	12						
6	8	10	10	12	12	14	16	18				
8	10	12	14	14	14	16	20	22	25	28		
10	12	14	16	16	16	18	22	22	25	28	28	32
12	14	16	18	18	18	20	22	25	28	28	32	36
16	18	20	20	22	22	25	28	28	32	32	36	40
20	22	25	25	25	28	28	32	32	36	36	40	40
25		28	32	32	32	40	40	40	40	45	45	45
32			40	40	40	40	45	45	50	50	50	55
40				45	50	50	50	55	55	60	60	60
50				60	60	60	70	70	70	80	80	80

Minimalne duljine savinutog kraka lima u odnosu na radijus savijanja i debljinu lima



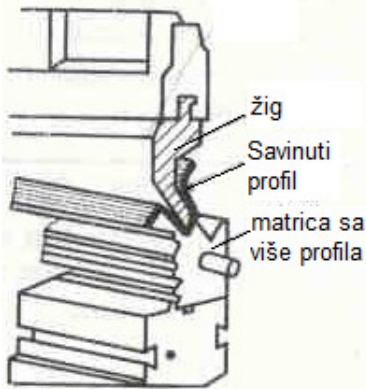
Način mjerenja kraka



### 7.5.2 Profilno savijanje lima



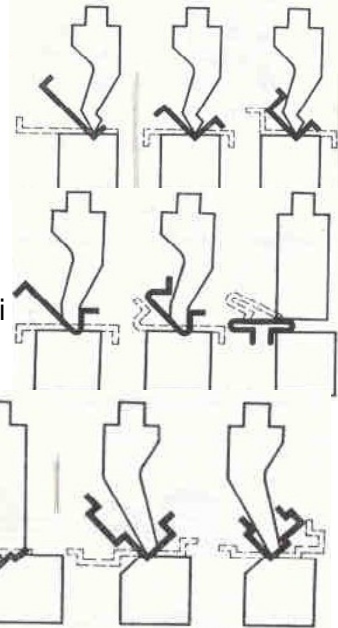
Višefazno savijanje limene trake u profil



Žig i matrica kod profilnog savijanja lima

Profilno savijanje je način presavijanja trake u složeni oblik iz lima debljine 2 do 20-ak mm i duljine 5 i više metara. Postupak je postepeni, u više koraka kojima se dobije traženi profil

Nekoliko primjera postepenog savijanja na preši.

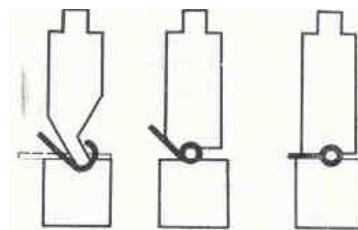


U ovisnosti o formi žiga i matrice savijau se složeni profili

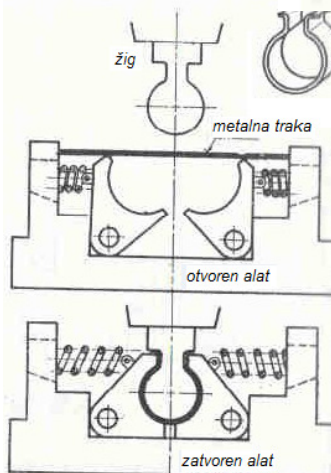
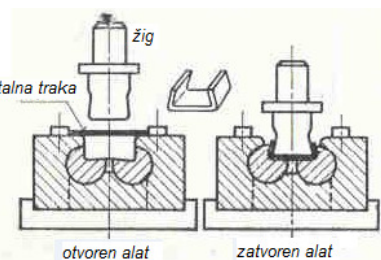
Proizvodnja profila izrađenih profilnim savijanjem koristi se u strojogradnji, brodogradnji građevinarstvu, ....



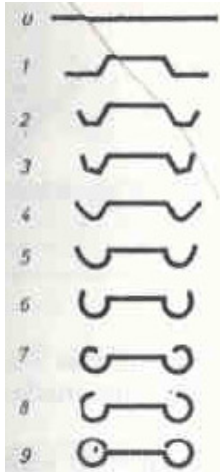
Proizvodi profilnog savijanja



Osim žiga i matrice profilna savijanja se mogu napraviti i složenim alatima. Pritisak žiga na lim i prenošenjem sile na formu u složenoj matrici „zatvara“ alat kako bi se dobila konačna forma.



### 7.5.3 Profili dobiveni hladnim valjanjem



Faze postupnog hladnog valjanja lima u složeni profil

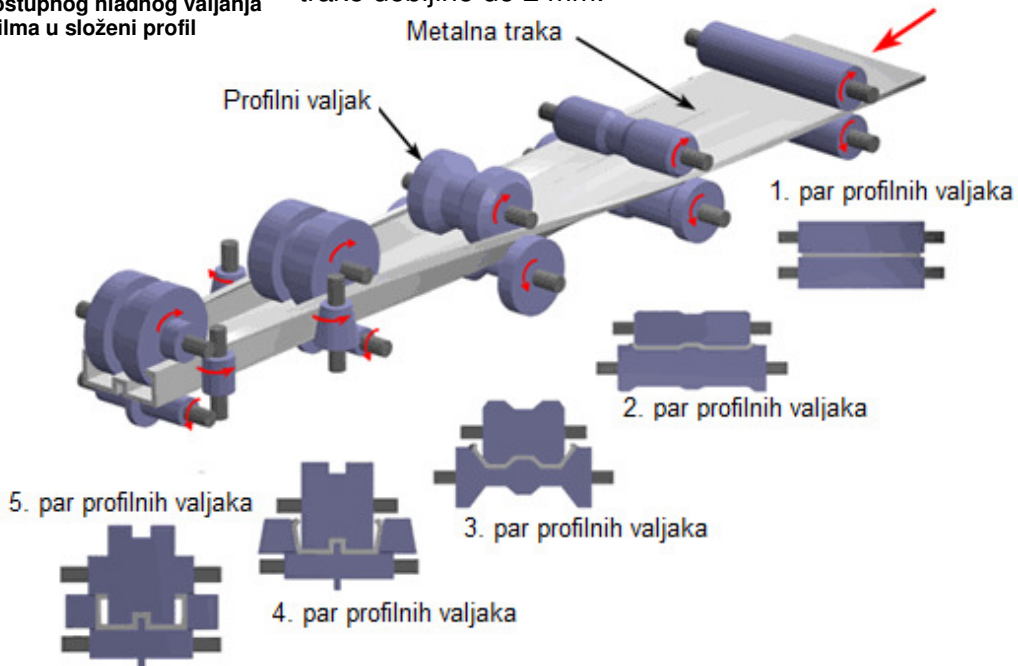
Oblikovanje limenih traka hladnim valjanjem je proces u kojem se lim postupno oblikuje kroz niz operacija savijanja pomoću velikog broja pari horizontalnih profilnih valjaka povezanih u seriju.

Oblik i veličina profilnih valjaka su jedinstveni za tu vrstu i taj korak, odnosno fazu savijanja

Osim para profilnih valjaka za savijanje u seriji mogu biti uključeni valjci za probijanje, zasjecanje ili obrezivanje viška materijala.

U prolazu limene trake kroz valjke je važno da brzine prolaza budu usklađene.

Hladno valjanje lima se najčešće primjenjuje za limene trake debljine do 2 mm.



Hladno valjanje profila – lima za pokrov

Kod hladnog valjanja profila postoji širok spektar presjeka profila. Najčešće se valjaju otvoreni profili, ali postoje i zatvoreni – cjevasti profili.

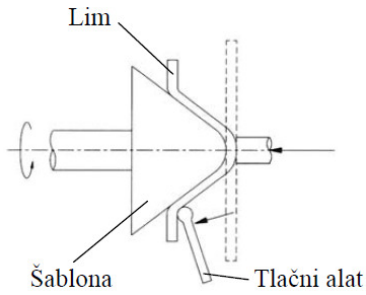
Karakteristika im je vrlo točni proizvodi s uskim tolerancijama ( $\pm 0,05$  mm).



Hladno valjanje profila

### 7.5.4 Tlačenje lima na rotacionu šablonu

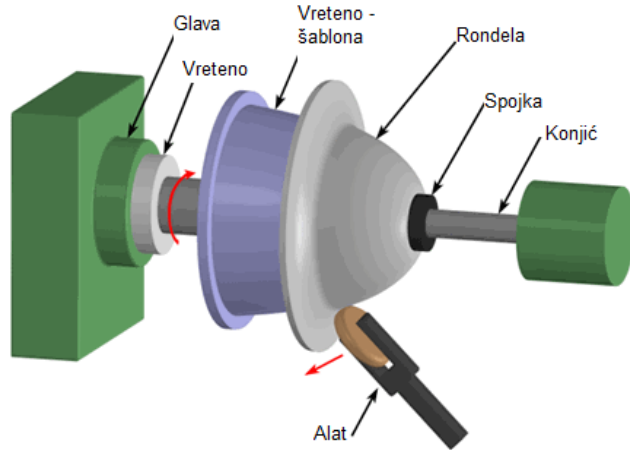
Postupak postepenog savijanja limene rondele a na šablonu koja rotira. Ovi se postupkom izrađuju složeni rotacioni oblici (valjkasti, konusni, eliprični,..)



Princip tlačenja lima na šablonu



Proizvodnja osno centričnih formi



Metalna rondela rotira velikom brzinom. Alat tlači lim koji poprima oblik vratila – šablone. Limena romdela se tlači samo s jedne strane i poprima osno simetrični rotacioni oblik (posuda za kuhanje, pehara, satelitskih tanjura, muzičkih instrumenata,...).



Ovakav postupak tlačenja lima može se ostvariti ručno i CNC upravljanjem.

Proizvod može biti jednostavan ili kompleksan te prema njemu se izrađuju jednostavne ili višedjelne složene šablone. Obliku mora odgovarati i alat koji tlači lim po formi šablone. Alat može napraviti formu iz jednog prolaza, ali se koriste i višefazni postupci kod kojih se u svakom prolazu mijenjaju alati.



Ručni i strojni alati za tlačenje

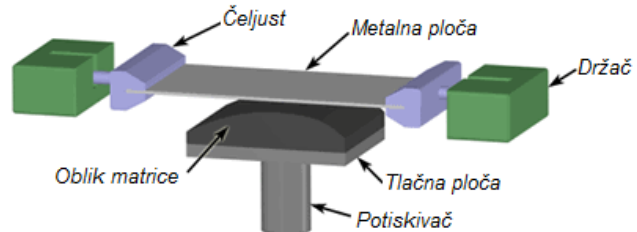
### 7.5.5 Formiranje oblika rastezanjem



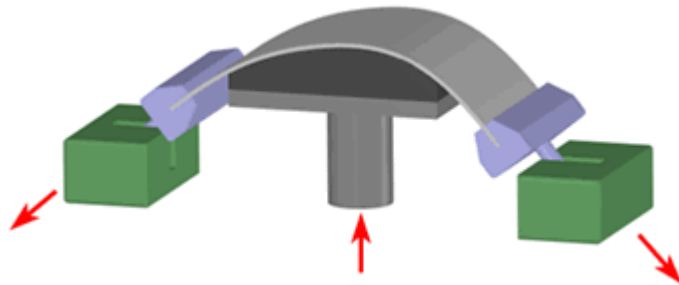
Formiranje rastezanjem



Rastezanje je obrada profilnog savijanja lima kod kojeg je limena ploča rastegnuta i istovremeno se savija preko matrice. Služi za izradu velikih dijelova sa velikim radiusima zakrivljenja. Proizvode se oblici jednostavne konture do izrazito kompleksnih profila. Izrada je visoke točnosti i preciznosti uz jako glatke površine.

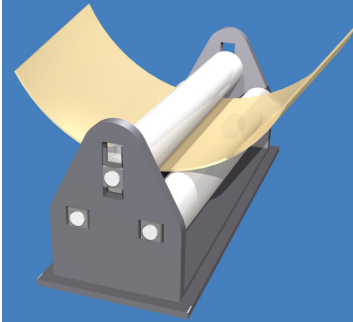


Limena ploča je zahvaćena u čeljustima te je zategnuta. Čeljusti su u držačima preše hidrauličke ili rijeđe pneumatske. Okomito na ploču tlači se matricakoja ima oblik koji treba proizvesti. Kako potiskivač gura matricu u ploču, dolazi do povećanja vlačne sile i lim se plastično deformira u novi oblik

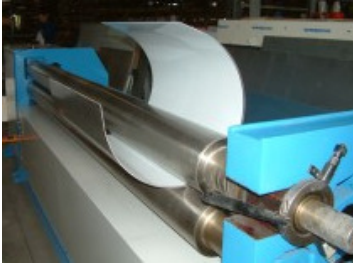


Ovim postupkom se proizvode dijelovi metane karoserije u automobilskoj industriji, dijelovi krila zrakoplova, ali i elementi u okvirima i kućistima prozora, vrata. Materijali koji su podobni za ovakav način obrade su aluminij, čelici te titan.





Kružno savijanje lima na savijačici s 3 valjka



Kružna savijanja lima na savijačicama s 3 valjka



Kružna savijanja debelog lima

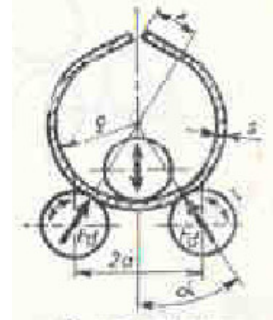


## 7.5.6 Kružno savijanje lima

Postupak kojim se valjaju limovi, trake, šipke, profili, cijevi,... u proizvode cilindričnog oblika kao što su kotlovi bojlera, željezničke ili cestovne cisterne, brodski limovi, ... Kružno savijanje je postupak obrade bez odvajanja čestica koji se provodi u više faza kako bi se dobio cilindrični proizvod.

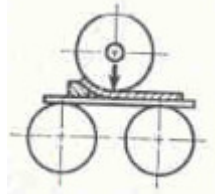
### 7.5.6.1 Savijanje s tri valjka

Lim se postavi između **tri** valjka. Srednji valjak se spusti za određenu dubinu i dolazi do progiba lima. Sada se lim provuče maksimalno moguće lijevo pa desno rotiranjem valjka. Najčešće je pogonski valjak samo srednji (odnosno gornji) dok su donji valjci samo oslonci. Zatim se srednji valjak ponovi spusti na slijedeću dubinu te se ponovi valjanje. Postupak se ponavlja do potrebnog radijusa savijanja.



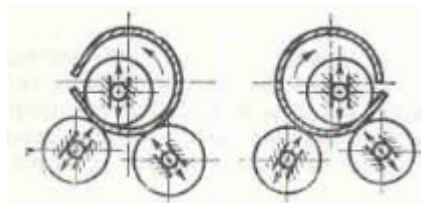
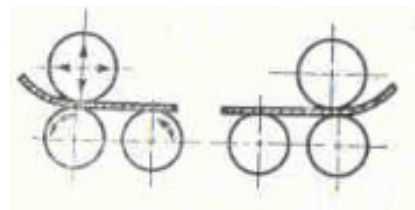
Pri ovakvom valjanju rubovi lima su nesavinuti i po prestanku valjanja, zbog djelovanja elastičnih sila, obradak se malo povrti.

Duljina ruba koji nije kružno savinut jednaka je približno polovici razmaka između dva donja valjka. Ti rubovi se moraju unaprijed presavinuti odnosno prije puštanja lima u proces savijanja



Proces predsavijanja rubova može se napraviti korištenjem šablona gdje se rub lima položi na šablonu koja stoji oslonjena na dva donja valjka. Tlačenjem gornjeg valjka lim poprima zaobljenje šablone.

Drugi način se koristi kod savijačica kod kojih se gornji valjak može premještati horizontalno u svrhu presavijanja lima.



Slijedeći način presavijanja je kod savijačica koje mogu vertikalno i horizontalno pomicati donje valjke i time mijenjati razmak u svrhu presavijanja.

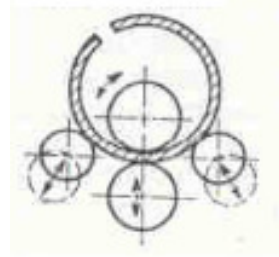
Pogon ima samo gornji valjak dok se donji valjci premještaju i natiskuju lim na gornji valjak.



Kružna savijanja lima na savijačicama s 4 valjka

### 7.5.6.2 Savijanje s četiri valjka

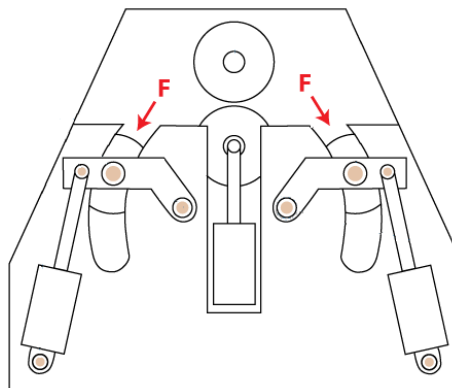
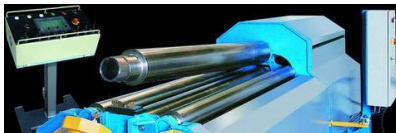
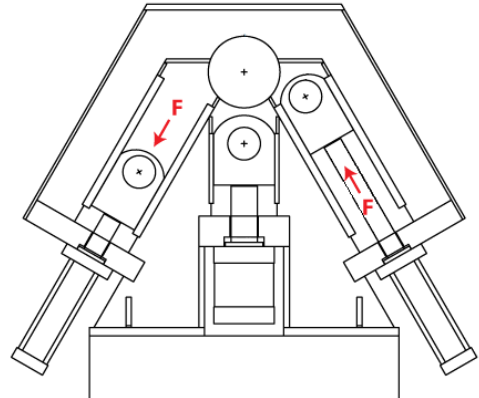
Lim se postavlja između većeg gornjeg valjka, koji je pogonski i manjeg donjnjeg valjka, koji se može vertikalno pomicati i tlačiti lim na gornji valjak.



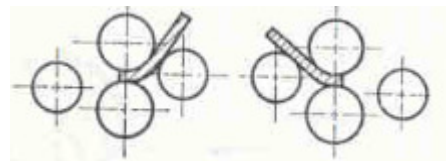
Manji lijevi i desni valjak se natiskuju na lim premještanjem položaja u smjeru strelica.



Sila potrebna za savijanje, odnosno tlačenje valjaka shematski je prikazana na skicama. Hidraulički cilindri tlače nosače ležaja valjaka direktno ili preko poluga



Predsavijanje se postiže promjenom položaja među valjcima



Okruglo savijanje na savijačici s 4 valjka obratka sa promjenjivim radijusom zaobljenja

### 7.5.7 PITANJA

1. Što je savijanje ?
2. Kakva se opterećenja pojavljuju kod savijanja ?
3. Kakve se deformacije pojavljuju u zoni savijanja ?
4. Kako se dijelil savijanje ?
5. Objasniti kutno savijanje.
6. Koji se alati koriste kod kutnog savijanja ?
7. Koji je najčešći oblik matrice kos kutnog savijanja ?
8. Objasniti zakretno savijanje.
9. Koja je razlika između V-savijanja i U-savijanja ?
10. Objasniti postupak kod U-savijanja ?
11. Što je otvoreni, a što zatvoreni profil kod savijanja ?
12. Objasniti profilno savijanje.
13. Koje vrste alata se upotrebljavaju kod profilnog savijanja ?
14. Objasniti hladno valjanje profila
15. Koji se alati koriste kod hladnog valjanja profila ?
16. Koji se profili proizvode hladnim valjanjem ?
17. Objasniti savijanje limene rondele na rotacionu šablonu.
18. Kakve se šablone i kakvi se alati koriste kod savijanja na rotacionu šablonu ?
19. Objasniti formiranje oblika rastezanjem.
20. Kakvi se proizvodi dobiju rastezanjem ?
21. Objasniti kružno savijanje lima ?
22. Kako se dijeli kružno savijanje lima ?
23. Objasniti kružno savijanje lima s tri valjka.
24. Objasniti kružno savijanje lima s četiri valjka.
25. Što je predsavijanje i za što se koristi ?
26. Kakvi radijusi se mogu savijati kod okruglog savijanja lima na istom proizvodu ?
27. Kako se odvija predsavijanje kod savijanja s tri, a kako kod savijanja s četiri valjka ?
28. O čemu ovisi radijus zaobljenja limenog cilindra savinutog lima ?
29. Da li je moguće na savijačicama s tri li četiri valjka savijati lim u konus, ako da kako ?
30. Objasni kako rade savijačice.

## 8. Zavarivanje, lemljenje i lijepljenje

Postupci spajanja materijala u strojarstvu dijele se na rastavljive i nerastavljive spojeve. Rastavljivi spoj je onaj spoj koji se može sastaviti pa rastaviti bez oštećenja ili loma. Kod nerastavljivog spoja sastavljeni dijelovi se ne mogu rastaviti bez oštećenja ili loma. Podjela je slijedeća:

### Nerastavljivi spojevi:

- lemljeni spojevi
- zavareni spojevi
- lijepljeni spojevi
- zakovični spojevi
- spojevi dobiveni savijanjem limova
- snap s kvačicom (snap-spojevi) – nerastavljivi

### Rastavljivi spojevi :

- vijčani spojevi



Lemljeni spoj



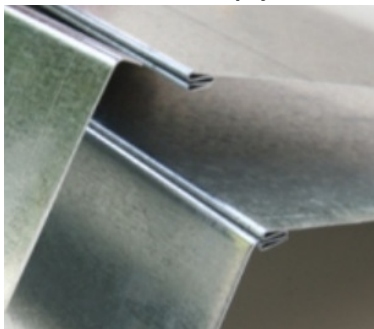
Zavareni spoj



Lijepljenje metala anaerobnim  
lijepilima



Zakovični spoj



Spoj savijanjem



- opruge

- spojevi pomoću zatika

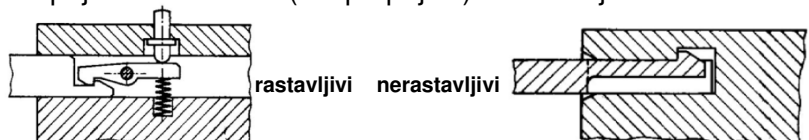


- spojevi pomoću svornjaka

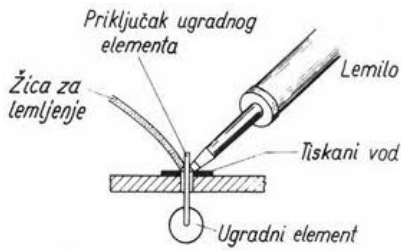
- spojevi s glavčinom



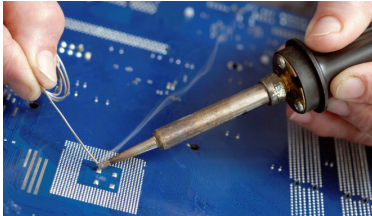
- spojevi s kvačicom (snap-spojevi) – rastavljivi







Schema mekog lemljenja u elektrotehnici



Ručno meko lemljenje



Tekućina za meko lemljenje



Nanošenje lema kod tvrdog lemljenja



## 8.1 Lemljenje

Lemljenje je postupak spajanja metalnih dijelova trećim - lemom - koji ima niže talište od metalnih dijelova koji se spajaju. Postupak se može obaviti ručno ili strojno. Spajanje se ostvaruje difuzijom lema u površine metala dijelova koji se spajaju (leme).

### Postupak lemljenja

1. Mjesto spajanja potrebno je odmastiti i dobro očistiti od oksida. Za to služe različiti predčistači (talila, čistači) kao solna kiselina, fosforna kiselina, cink-klorid, borna kiselina, te različiti prašci za lemljenje, paste za lemljenje...



Cinol pasta za meko i

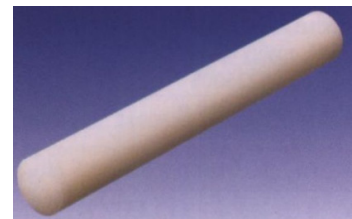
pasta za tvrdo lemljenje



Zagrijani lem se širi kao tekućina i pri tome ulazi u sve pore osnovnog materijala – dobro natapa materijal. Pri tome značajnu ulogu imaju takozvana **talila (otapala, čistači, predčistači)**. Njihova svrha je da pripreme površinu (otapanje oksida) za što bolje prihvaćanje rastaljenog lema. Talište im je niže od tališta lema, a kad dođe lem on ih istiskuje i zauzima njihovo mjesto. Zato se mora predvidjeti o osigurati slobodno otjecanje talila sa mjesta spajanja pri nailasku lema

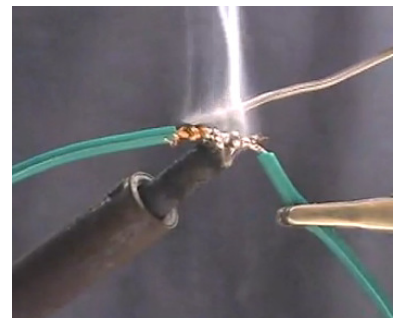


Prah za lemljenje



Stearinski štapić za lemljenje

2. Na očišćeno mjesto nanosi se rastaljeni lem. Što je rastaljeni lem rijeđi to bolje prijanja uz materijal koji leмимо - bolja je kapilarnost i bolje ispunjava raspore.



Nanošenje lema kod mekog lemljenja

3. Postupno hlađenje



Žica za lemljenje



Žica i trake za lemljenje



Okrugle šipke za lemljenje



Lem u obliku trokutaste šipke



Trake lema

Najčešća podjela lemljenja je prema **temperaturi** potrebnoj za taljenje lema i dijelil se u:

- meko lemljenje ( do 450°C) i
- tvrdo lemljenje (od 450 - 1200°C)

Lemova ima više vrsta. **Lem** je u većini slučajeva legura dva ili više elemenata (rijetko čisti element) koji ima slijedeće karakteristike:

- velika mehanička otpornost - žilavost, istezljivost, visoka vlačna čvrstoća
  - sposobnost dobre difuzije
  - niska temperatura taljenja i pri tome manji utjecaj na osnovni materijal
  - otpornost na vanjske utjecaje
  - jednostavnost primjene i alata, dobra kontrola procesa i lagana upotreba kod automatizirane serijske proizvodnje
  - mala potreba za energijom, ekonomičnost i ekološkičnost
  - spajanje predmeta različite debljine, tankih i masivnih, spajanje velikih i malih površina
  - dobra toplinska i električka vodljivost, ...
- ali
- mala otpornost na visoke temperature
  - legure leмова sa skupim plemenitim metalima
  - mogućnost pojave elektrolitske korozije, .....

Lemovi se izrađuju od:

- Lemovi za meko lemljenje:

Na bazi legura od Pb, Sn, Zn ili Cd (olova, kositra, cinka ili kadmija)

**Meki lemovi**

Oznaka	Sastav* %		Najniža temperatura lemljenja °C	Upotreba
	Sn	Pb		
S. Sn 20	20	80	275	za prevlake kovina za strojno lemljenje plamenom
S. Sn 25	25	75	257	
S. Sn 30	30	70	249	
S. Sn 33	33	67	242	za lemljenje razmazivanjem
S. Sn 35	35	65	237	
S. Sn 40	40	60	223	za lemljenje olova za opće svrhe za fino lemljenje za lemljenje zdravstvenih predmeta
S. Sn 50	50	50	200	
S. Sn 60	60	40	185	
S. Sn 75	75	25	185	

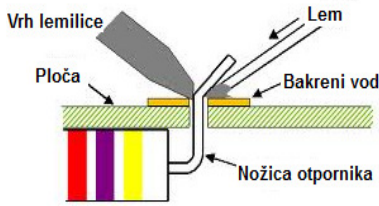
- Za tvrdo lemljenje:

Na bazi legura od Cu, Zn, Al, Ag i Si (bakra, cinka, aluminija, zlata i silicija)

**Tvrđi lemovi**

**Mjedeni lemovi**

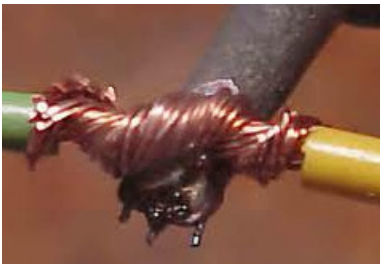
Oznaka	Sastav %			Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Cu	Zn min.	Si		
S. Cu 85 Zn	84...86	13	0,2...0,4	1020	za bakar, bakrene slitine, čelik i lijevano željezo
S. Cu 63 Zn	62...64	35	0,2...0,4	910	
S. Cu 60 Zn	59...61	38	0,2...0,4	900	
S. Cu 54 Zn	53...55	44	0,2...0,4	890	za bakrene i niklene slitine i lijevano željezo
S. Cu 48 Zn	47...49	50	-	870	
S. Cu 42 Zn	41...43	56	-	845	za bakrene i niklene slitine



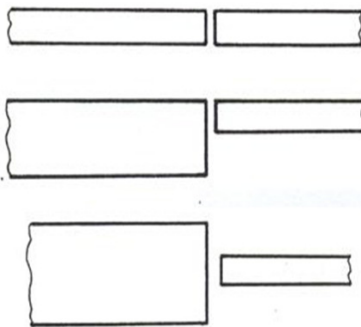
Schema mekog lemljenja u elektrotehnici



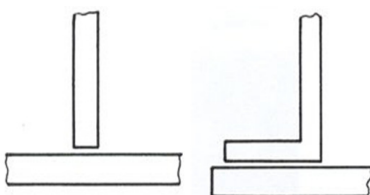
Meko lemljenje



Meko lemljenje (spajanje) žice



Lemljenje limova – čeon, „I“ spoj



Lemljenje limova – T spoj

- Kod visokotemperaturnog tvrdog lemljenja (iznad 900°C) koriste se lemovi na bazi Ni, Au, Cu (nikla, srebra, bakra) i drugih plemenitih metala. Posebne izvedbe leмова su na bazi Ti, Zr, Co i Nb

Oznaka po DIN	Sastav %			Temper. lemljenja °C	Upotreba
	Cu	Sn	P		
L-Cu	> 99,90	-	-	1083	za nelegirani čelik
L-SF Cu	> 99,90	-	0,02...0,05	1083	
L-Cu Sn6	> 91	5...8	0...0,4	1040	za željezne i niklene slitine
L-Cu Sn 12	> 86	11...13	0...0,4	990	

Osnovni lem koji se koristi za lemljenje u elektronici je legura Sn60Pb39Cu1 (sastoji se od kositra 60%, olova 39% i bakra 1%).

Lem se izrađuje u obliku žica, traka, šipki ili cjevčica punjenih prahom za lemljenje

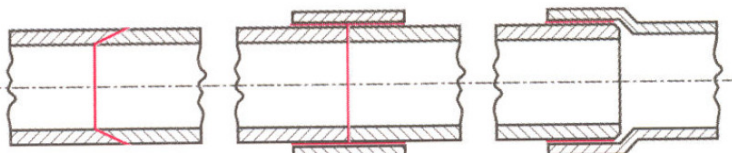


### Spojivi lemljenjem

Spojivi lemljenjem dijele se u spojeve žica, šipki, cijevi, limova, spremnika,...

Kod lemljenja žica i elemenata u elektrotehnici koristi se meko lemljenje koje osim dobrog spoja mora osigurati dobru vodljivost električne struje te ne smije oksidirati (elektrolitski).

Kod lemljenja cijevi najčešće se koriste konusni spoj, čeon spoj s ojačanjem te preklopni spoj.



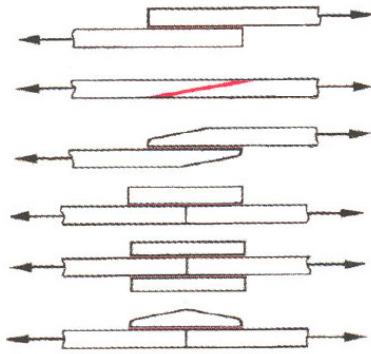
Schema cijevnih spojeva

Prije dovođenja spojnih površina u kontakt (položaj za lemljenje) potrebno ih je mehanički očistiti, te premazati talilom (otapalom, predčistačem, pastom za lemljenje).

Nakon postavljanja u položaj za



lemljenje potrebno je zagrijati spoj. Dolazi do „kipljenja“ talila. Dodavanjem lema on kapilarnim efektom ulazi u međuprostor i istiskuje talilo. Slijedeće je ostavljanje spoja da se ohladi



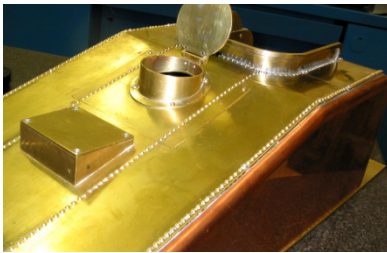
Spojevi limova

Lemljenje lima ima slijedeće spojeve:

- Spajanje ravnih limova lemljenjem
- preklopni spoj
- kosi preklopni spoj
- zakošeni preklopni spoj
- čeoni spoj s jednim ojačanjem
- čeoni spoj s dvostrukim ojačanjem
- čeoni spoj s zakošenim ojačanjem

Spajanje lemljenjem limova pod kutem:

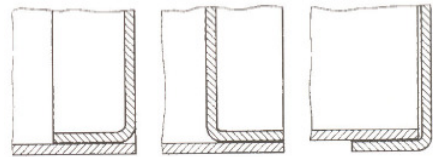
- T spoj
- L spoj



Zalemljeni spremnik

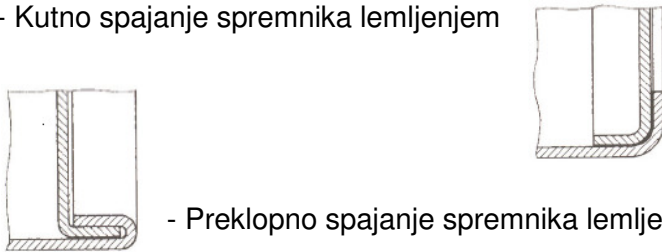
Spajanje spremnika nepropusnim lemljenjem

- Ravno spajanje (po jednoj površini za manje tlakove)



Lemljenje okapnice

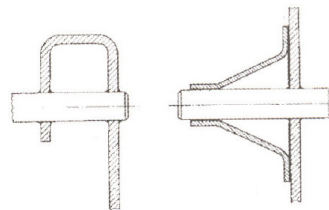
- Kutno spajanje spremnika lemljenjem



- Preklopno spajanje spremnika lemljenjem

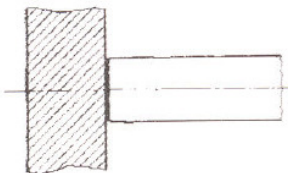
Spajanje šipki:

- Dvostrukom uležištenjem

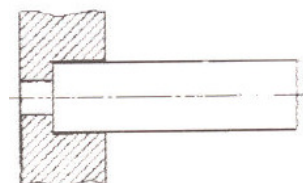


Zalemljena ručka na posudi  
(lemljenje srebrnog posuđa)

- Nalemljivanjem čela šipke



- Ulemljivanjem po obodu šipke





Način lemljenja stakla



Lemljenje stakla u umjetnosti



Lemljenje keramike

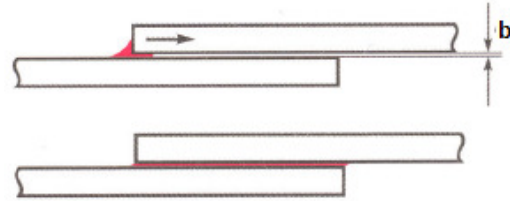


Lemljeno sjenilo stolne lampe



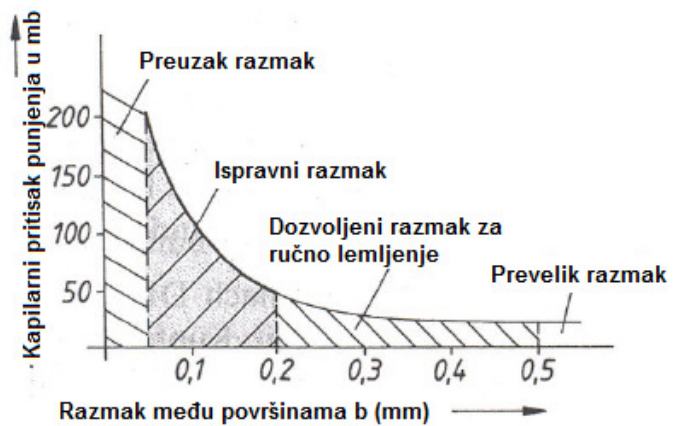
Lemljeno staklo terarija

Čvrstoća lemljenih spojeva proračunava se na odrez, a rijeđe na vlak. Lem u rastaljenom stanju kapilarni efektom ulazi između dvije ili više blisko postavljenih površina.



Rastaljeni lem kapilarnim efektom popunjava razmak među površinama koje se leme

Zato je potrebno postići što tanji sloj lema, kako bi odrezna čvrstoća je veća. (maksimalna je pri debljini lema od 0,05 - 0,2 mm)



Oblikovanje spoja koji bi zadovoljio te uvjete mora se napraviti prema slijedećim preporukama:

Površine koje će se lemiti detaljno očistiti od nečistoća npr. oksida, masnoća,

Nanositi dovoljno talila i osigurati mu slobodno otjecanje sa mjesta spajanja pri nailasku lema

Zagrijavanje lema mora biti indirektno, tj. preko radnog komada

Spoj treba oblikovati tako da razmak bude po cijeloj površini spajanja ravnomjeren i neprekinut

Treba predvidjeti veličinu razmaka, jer pri zagrijavanju dolazi do njegovog povećanja

Potrebno je izbjegavati velike površine za lemljenje

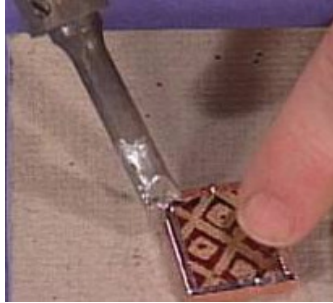
Ako postoji mogućnost nastajanja velikih naprezanja potrebno je koristiti preklopni spoj

Ako se lemi s lemovima i metalima s različitim koeficijentima istezanja treba predvidjeti odgovarajući razmak

Potrebno je spojeve izvesti tako da se samocentriraju



Lemljenje nakita (prstena,



privjesaka,



ogrlica)



Lemljenje muzičkih instrumenata



**Greške** kod lemljenja se mogu podijeliti u tri osnovne skupine:

- Greške u osnovnom materijalu
- Greške u lemu
- Greške lemljenja

Greške pri lemljenju - povezivanju (lema i osnovnog materijala) mogu nastati zbog:

- nedovoljno zagrijanog osnovnog materijala obratka
- pregrijanog lema te curenja
- nedovoljnog ulaženja talila u razmak
- zaostalog, neuklonjenog oksida
- neočišćene, neodmašćene površine
- nepravilnog oblika spoja, nenalijeganja, prevelikog ili premalog razmaka
- premalo talila
- premalo lema te slabog popunjavanja
- korozije zbog loše odabranog lema
- poroziteta zbog pregrijanog lema i isparavanja
- pojave šupljina zbog zaostale vlage
- pukotina u lemu ili osnovnom materijalu zbog zaostalih deformacija

Lemljenje se može podijeliti na više načina

Prema radnoj temperaturi  
Meko i tvrdo

Prema načinu zagrijavanja  
Lemilicom

Plinskim plamenom  
Uranjanjem u kupke

U pećima (plinskim, na tekuća goriva, električnim)

Indukcijsko  
Elektrotopno  
Infracrveno  
Laseraski

Prema vrsti atmosfere

Zrak  
Zaštitna okolina (plin, tekućina)  
Vakuum

Prema obliku spoja

Čeono  
Preklopno  
L spoj  
T spoj  
Sa zakošenjem  
Stepeničasto  
Nalemljivanjem  
Ulemljivanjem

## Alati za ručno lemljenje



Ručna lemilica za meko lemljenje



Ručna lemilica za meko lemljenje sa regulacijom temperature od 150°C do 450°C



Pistolj za tvrdo lemljenje snage 300W za temperature do 600°C



Pistolj na vrući zrak za lemljenje

Prikazane vrste lemljenja, a time i lemilica mogu se sistematizirati prema:

- načinu dovođenja topline
  - lemilice na struju
  - elektrootporne
  - indukcijske
  - plinske lemilice
  - mini
  - s kartušom
  - na bocu
- temperaturi lemljenja:
  - meko,
  - tvrdi
  - visokotemperaturno

## Podjela lemilica

### Električne

- Ručna električna lemilica za meko lemljenje
- Ručna lemilica za meko lemljenje sa regulacijom temperature (lemna stanica)
- Pistolji za lemljenje (meko ili tvrdo)
- Pistolji na vrući zrak (fenovi)
- Elektrootporne lemilice
- Ručne elektroindukcijske lemilice

### Stolni uređaj za elektro otporno lemljenje



Postupak elektrootpornog lemljenja

### Indukcijsko lemljenje pojedinačnih proizvoda





Plinska lemilica na „kartuše“

Plinske

- Mini plinske lemilice
- Lemilica na kartuše
- Plinski pištolji koji se spajaju na plinsku bocu
- Plinski pištolji za lemljenje s kružnim plamenikom za lemljenje cijevi



Male plinske lemilice

- Plinski pištolji za lemljenje s čekićem za lemljenje



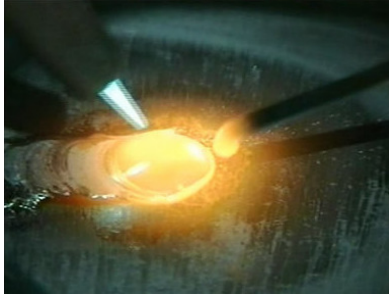
Pištolj za lemljenje acetilenom

Plinske lemilice mogu meko i tvrdo lemiti. Lemilice koje koriste acetilen imaju temperaturu plamena do 2500°C.



### 8.1.2 PITANJA

1. Koje su vrste spajanja strojnih elemenata i koje su im karakteristike ?
2. Potrebno je nabrojiti vrste rastavljivih spojeva ?
3. Potrebno je nabrojiti vrste nerastavljivih spojeva ?
4. Što je lemljenje ?
5. Koje su vrste lemljenja – podjela ?
6. Koliko faza ima postupak lemljenja ?
7. Objasniti pojedine faaze lemljenja.
8. Kakva je razlika između mekog i tvrdpg lemljenja ?
9. Gdje se koristi meko lemljenje ?
10. Čemu služi tvrdo lemljenje ?
11. Koje su karakteristike lema ?
12. Od čega se izrađuju lemovi ?
13. Koji su osnovni oblici lemovi ?
14. Što je visokotemperaturno lemljenje ?
15. Kako se dijele spojevi lemljenjem ?
16. Objasniti lemljenje lilmova – vrste ravnih spojeva.
17. Objasniti lemljenje lilmova – vrste kutnih spojeva.
18. O čemu ovisi čvrstoća lemljenih spojeva ?
19. Koja je optimalna debljina lema ?
20. Kako se oblikuje spoj – koje uvjete mora zadovoljavati ?
21. Koje su greške kod lemljenja ?
22. Na koje sve načine se može sistematizirati lemljenje ?
23. Koji alati se koriste za ručno lemljenje ?
24. Kako se dijele alati za ručno lemljenje ?
25. Objasniti ručne alate za meko i za tvrdo lemljenje.



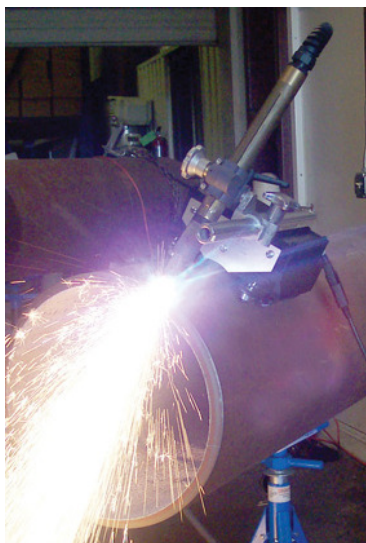
Fotografija rastaljene osnovne ploče i dodatnog materijala



Zavarivanje cijevi



Zavarivanje osovine



Zavarivanje cijevi velikog promjera

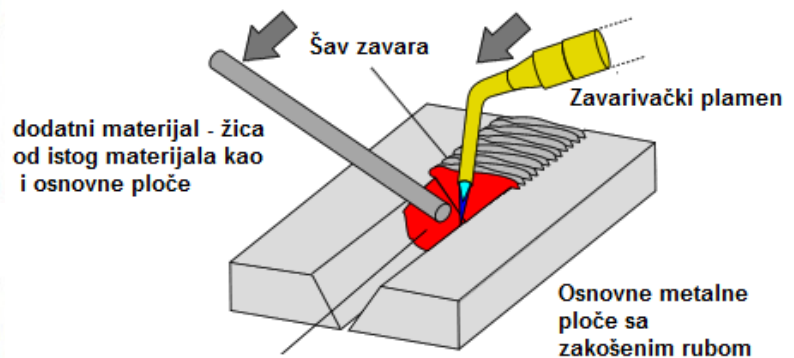
## 8.2 Zavarivanje

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istovrsnih ili raznovrsnih materijala, zagrijavanjem rubnih dijelova taljenjem, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala na način da se dobije homogen zavareni spoj.

Zavarivanjem se smatra i spajanje nekih metala pritiskom, bez dovođenja topline. To je hladno zavarivanje.

Zavarivanje se može provesti različitim postupcima što ovisi o vrsti materijala koji spajamo, o debljini materijala, vrsti dodatnog materijala te pripremi površina koje se spajaju.

### PLINSKO ZAVARIVANJE (AUTOGENO) ACETILENOM



Korito zavara ispunjeno rastaljenim metalom iz osnovnih ploča i dodatnog materijala



Presjek zavarenog spoja  
Rubovi metalnih ploča i dodatni materijal su spojeni u formu spoja

Mjesto spoja nazivamo šav zavara. Šav zavara se kod kvalitetno provedenog postupka zavarivanja po svojim mehaničkim karakteristikama ne razlikuje od materijala koji smo spajali.

Zavarivanje je interdisciplinarna tehnologija te za razumijevanje i korištenje ove tehnologije je potrebno slijedeće:

- poznavati materijale i metalurgiju – posebno metalurgiju zavarivanja,
- poznavati termodinamiku odnosno temperaturna polja pri zavarivanju,
- poznavati elektrotehniku odnosno izvore struje i električni luk,
- poznavati kemijske procese koji se odvijaju pri zavarivanju,
- te poznavati informatiku, ekspertne sustave, različite proračune, baze podataka i dr.

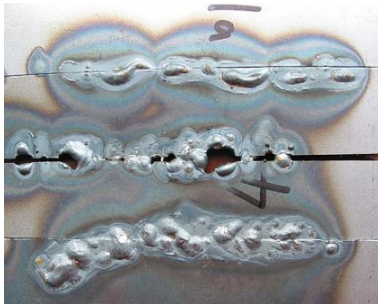
## 8.2.1 Zavarljivost

Kod postupka zavarivanja najvažniji pojam je zavarljivost.

Definicija zavarljivosti prema međunarodnom institutu za zavarivanje ( IIW / IIS ) je:

**ČELIK JE ZA ODREĐENE SVRHE I NA ODREĐANI NAČIN ZAVARLJIV, AKO JE SPOSOBAN DA SE UPOTRIJEBI ZA IZRADU ZAVARA KAO KONSTRUKCIJSKOG ELEMENATA U ZAVARENOJ KONSTRUKCIJI U KOJOJ SE GARANTIRA KONTINUITET SPOJEVA.**

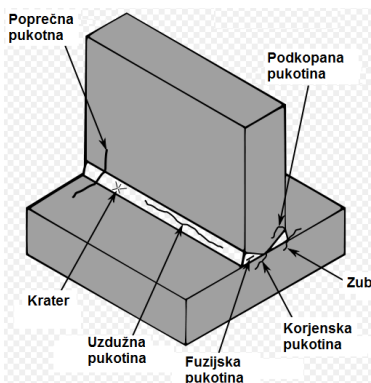
**PRI TOMU TI SPOJEVI PO SVOJIM MEHANIČKIM SVOJSTVIMA MORAJU ODGOVARATI LOKALNO NAŠIM ZAHTJEVIMA, A ISTODOBNO MORAJU BITI SPOSOBNI DA NA SEBE PRIME SVE GLOBALNE POSLJEDICE KOJE IZAZIVA POJAVA ZAVARENIH SPOJEVA U STROJARSKOJ KONSTRUKCIJI.**



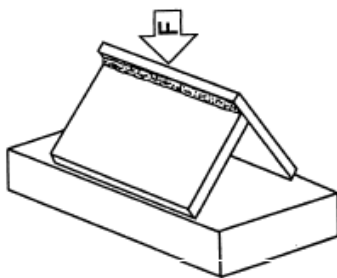
Test zavarljivosti na čeliku



Test zavarljivosti na aluminiju



Vrste pukotina kod zavarivanja



Test savijanjem do pojave prvih pukotina spoj se tlači te u zavaru dolazi do savijanja. Kada se pojave prve pukotine pokus se zaustavlja. Mjeri se kut kod kojeg je došlo do pojave prvih pukotina te se iz tablica očitava prema vrsti osnovnog materijala i postupka zavarivanja da li je materijal zavarljiv.

Zavarljivost se dijeli na lokalnu i na globalnu.

- Pod lokalnom zavarljivosti smatra se metalurška i operativna sposobnost spajanja materijala.
- Globalna ili konstruktivna zavarljivost je ponašanje konstrukcije i/odnosno sigurnost konstrukcije pod najnepovoljnijim radnim uvjetima.

**Na zavarljivost metala utječu:** kemijski sastav - poglavito postotak ugljika kod nelegiranih čelika, udio legiranih elemenata, nečistoće, debljina tj. dimenzije dijelova koji se zavaruju, vrsta dodatnog materijala, priprema spoja za zavarivanje, izbor tipa i dimenzija elektrode, brzina zavarivanja, oblik spoja, dimenzije žlijeba, ...

Ako nema homogenosti zavarenog spoje, pojavljuju se pukotine, poroznost, različiti nemetalni uključci,.. Time se zavarljivost metala često ocjenjuje kao sklonost pojavi pukotina.

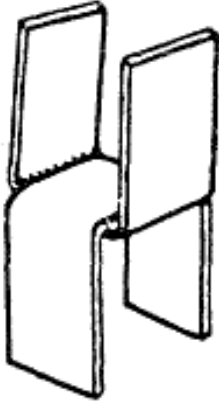
Ugljični čelici sa postotkom ugljika  $C < 0,25\%$  smatraju se zavarljivim, dok kod većih postotaka ugljika pojavljuju se problemi sa zakaljivošću, te takav čelik u normalnim uvjetima smatramo nazavarljivim.

Niskolegirani čelici su dobro zavarljivi uz predgrijavanje. Temperature predgrijavanja su od  $50 - 350^{\circ}\text{C}$ . To vrijedi i za neke visokoleirane čelike te nahrđajuće čelike koji se moraju hladiti inertnim plinovima.

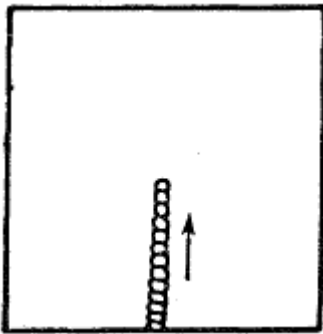
Sivi lijev je zavarljiv elektropostupcima uz predgrijavanje do  $600^{\circ}\text{C}$ . T

**Zavarljivost je sposobnost spajanja materijala zavarivanjem.**

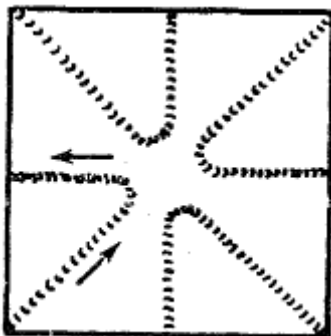
## Probe zavarljivosti



Pokus sličan prethodnom. Limene trake debljine 1-2mm duljine oko 100mm se križno zavare i savijaju dok se ne pojave prve pukotine. Time se određuje da li je materijal zavarljiv ili ne.



Jednostavno ispitivanje zavarljivosti – na limu se napravi zavar prema slici te se provjeri da li ima pukotina uz šav zavara. Ako nema pukotina materijal je zavarljiv.



Primjer ispitivanja zavarljivosti za nepoznati materijal. Postupak zavarivanja kreće iz vrha limene pločice prema sredini te se vraća na polovinu stranice. Kada se provede postupak zavarivanje iz svih vrhova, pregleda se da li su se negdje pojavile pukotine.

Probe se mogu svrstati u tri skupine:

- Probe operativne zavarljivosti
- Probe metalurške ili lokalne zavarljivosti
- Probe konstruktivne ili globalne zavarljivosti

**Probe operativne zavarljivosti** moraju pokazati ponašanje metala kod taljenja te mogućnost dobivanja kvalitetno zavarenog spoja sa ili bez primjene operativnih vještina kao što su predgrijavanje ili upotreba specijalnih topitelja (praha), ...

Ove proba se svodi na vizuelni pregled presjeka (ili pod mikroskopom malog povećanja) u kojem se određuje karakter kristalizacije te eventualno prisustvo nekih grešaka kod zavarivanja kao što su različiti uključci, mjehuravost,...

**Probe lokalne ili metalurške zavarljivosti** moraju pokazati fizičko – kemijske transformacije osnovnog materijala pod utjecajem termičkih procesa prilikom zavarivanja.

Kod ovih proba ispituju se mehaničke karakteristike čeonog zavara. Naprezanja su statička i dinamička pri ekstremno visokim ili niskim temperaturama. Ispituje se tlačna i vlačna naprezanja, naprezanja kod savijanja i odreza, udarna naprezanja, žilavost, tvrdoća,...

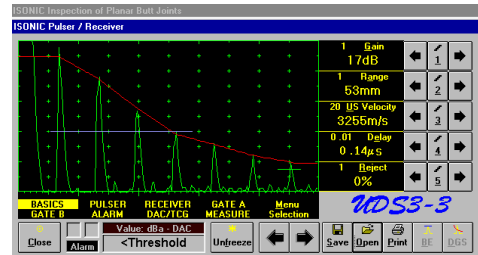
**Probe konstruktivne ili opće zavarljivosti** moraju pokazati pojavu pukotina kod zavarenog spoja ili osjetljivost spoja na sile rezanja (zarezanje).

Probe se izvode na epruvetama ili na mehanički uklještenim tankim limovima.

Probe zavarljivosti moguće je provesti u laboratorijskom uvjetima i na terenu.

Eksparimenti koji se „isprobavaju na terenu“ su brzi rezultati ispitivanja mehaničkih naprezanja na zavarenom spoju koji daju zadovoljavajuće rezultate

Osim ovim razarajućim metodama provjere zavarljivosti, postoje i metode provjere kvalitete vara koje ne razaraju osnovni materijal. Tu se koristi ultrazvučno ispitivanje, radiografsko ispitivanje roendgenskim snimkama, magnetsko ispitivanje.



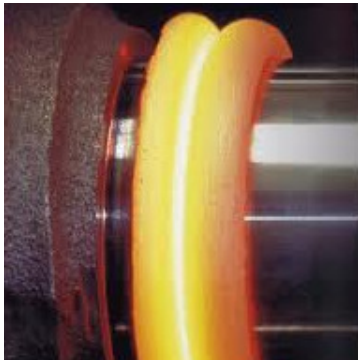
Ispitivanje zavarenog spoja ultrazvukom



Kovačko zavarivanje



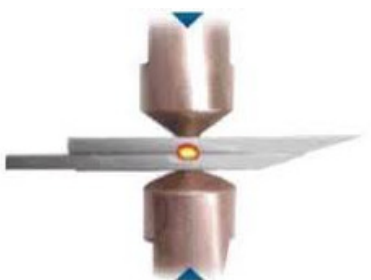
Hladno zavareni spoj



Zavarivanje trenjem



Plinsko zavarivanje - rezanje



Elektrotopno zavarivanje

## 8.2.2 Podjela zavarivanja

Prema načinu spajanja metode zavarivanja se dijele u dvije velike grupe:

### - Zavarivanje pritiskom

- Kovačko zavarivanje
- Hladno zavarivanje
- Zavarivanje trenjem
- Zavarivanje eksplozijom
- Zavarivanje visokofrekventnom strujom
- Indukcijsko zavarivanje
- Zavarivanje difuzijom

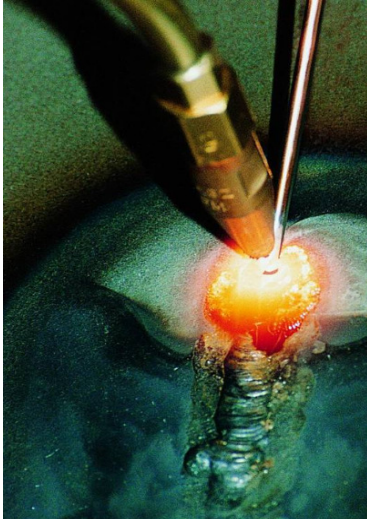
### - Zavarivanje taljenjem

- Plinsko zavarivanje
  - Zavarivanje propan - butan
  - Zavarivanje acetilenom
- Elektrolučno zavarivanje
  - Grafitnom elektrodom
  - Obloženom elektrodom
    - REL (MMA) – zavarivanje
    - Pod letvom
    - Gravitacijsko
    - Kontaktno
  - Golom elektrodom
    - Pod zaštitnim plinom
      - MIG / MAG
      - TIG
    - Pod zaštitnim praškom
      - EEP
    - Elektrodom – punjenom žicom
  - Elektrotopno zavarivanje
    - Točkasto
    - Bradavičasto
    - Šavno
    - Čeono
  - Aluminotermijsko
  - Pod troskom
  - Ljevačko
  - Laserom
  - Plazmom
  - Elektronskim mlazom



Aluminotermijsko zavarivanje

### 8.2.3 Plinsko zavarivanje



Plinsko zavarivanje s dodatnim materijalom

Plinsko zavarivanje spada u grupu zavarivanja taljenjem, gdje se toplina potrebna za taljenje osnovnog materijala dobiva izgaranjem nekog plina (acetilen, propan, butan, vodik, benzinske pare,..) i kisika. Zavarivanje se izvodi sa ili bez dodatnog materijala. Dodatni materijal je u obliku žice koja se tali i popunjava mjesto zavarivanja.

Plinsko zavarivanje je jedan od najstarijih načina zavarivanja i danas polako gubi zastupljenost pred drugim postupcima zavarivanja. Toplina dobivena plinskim zavarivanjem je više raširena po osnovnom materijalu te uzrokuje sporije hlađenje i veća zaostala naprezanja i deformacije. Više se upotrebljava kod plinskog rezanja i tvrdog lemljenja.

Plinsko zavarivanje se koristi pri zavarivanju čelika, sivog lijeva, obojenih metala (bakar, aluminij i njihove legure). Postupak je jednostavan, oprema jeftina, brzina rada mala.



Boce za kisik (plava) i acetilen (bijela) za plinsko zavarivanje

#### Plamen

Za plinsko zavarivanje najčešće se upotrebljava plin acetilen, jer je temperatura koja se razvija prilikom izgaranja acetilena u kisiku veća od 3200°C.

Acetilen se puni u bijele 40-litarske boce na 15 bara (oko 6000 litara acetilena), U boci se nalazi acetone koji je otapalo acetilena te porozna smjesa koja regulira oslobađanje acetilena iz acetona.

Kisik se puni u plave 40-litarske boce pod tlakom od 150 bara (oko 6000 litara kisika).

Pri paljenju plamena mora se poštivati redosljed puštanja plinova. Najprije se otvara ventil za gorivi plin (acetilen) i zapali se upaljačem. Mogu se pojaviti tri stanja:



Izgaranje acetilena



Jako reducirajući plamen



Slabo reducirajući plamen



Neutralni plamen



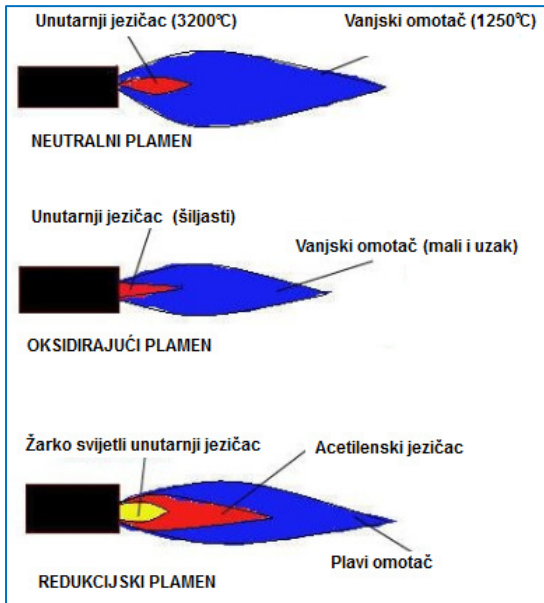
Oksidirajući plamen

- previše otvoreni ventil i previše gorivog plina  
U ovom slučaju će se prilikom otvaranja ventila za kisik te povećavanjem količine kisika plamen ugasiti

- premalo otvoreni ventil i premalo gorivog plina  
Plamen će imati jaki crni dim, nije povoljan za zavarivanje. Dodavanjem kisika plamen će se ugasiti

- dobro otvoreni ventil i točna količina gorivog plina  
Dodavanjem kisika plamen će se stabilizirati i dobiti će se neutralni plamen povoljan za zavarivanje temperature 3200°C.



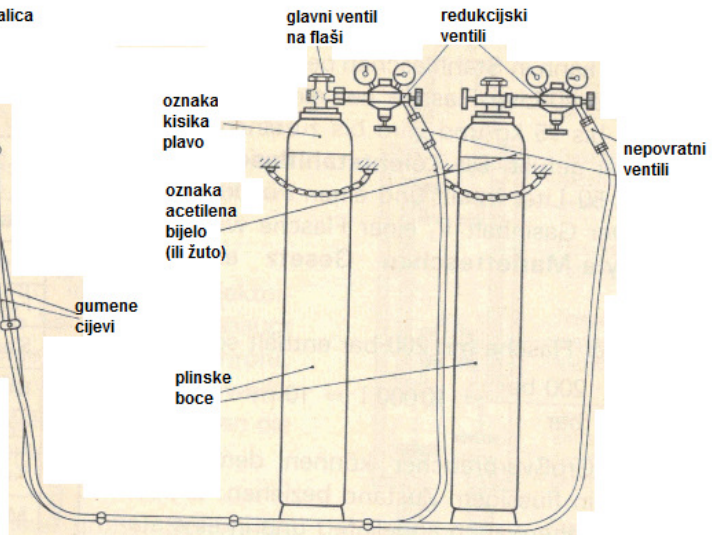
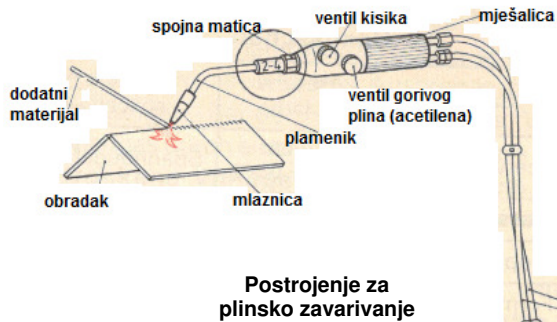


Pravilnim paljenjem plinova – najprije gorivi plin (acetylen) te dodavanjem kisika postiže se – neutralni plamen gdje su omjeri gorivog plina (acetilena) i kisika u odnosu 1 : 1 (1,1 -1,2)

- oksidirajući plamen sadrži veći omjer kisika kisika ima više nego je potrebno za izgaranje acetilena

- redukcijski plamen (reducirajući) sadrži manji omjer kisika, tj ima ga manje nego što je potrebno za izgaranje acetilena

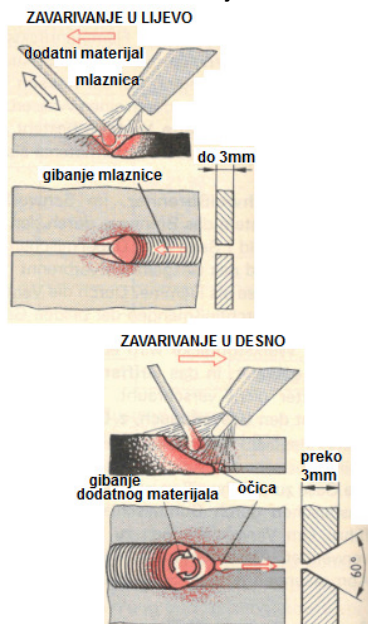
Plamen se gasi obrnutim redoslijedom. Najprije se zatvori ventil za dovod kisika, a zatim se zatvara ventil gorivog plina (acetilena).



Zavareni spoj plinskim zavarivanjem

Kod plinskog zavarivanja najčešće se koristi neutralni plamen, dok ostale vrste imaju posebnu namjenu.

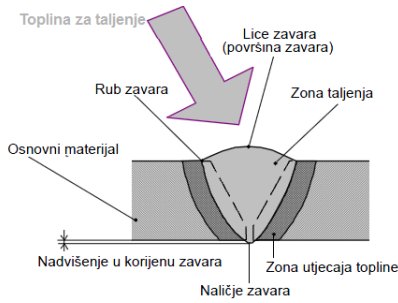
Tehnike rada pri plinskom zavarivanju:



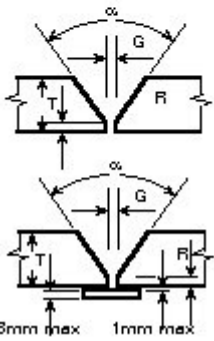
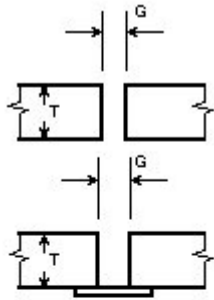
- zavarivanje u lijevo je tehnika gdje se najprije pomiče dodatni materijal (žica), a zatim se pomiče plamenik (žica je uvijek ispred plamenika). Istovremeno se grije dodatni i osnovni materijal dok se oba ne rastale. Primjenjuje se za zavarivanje tanjih limova (do 3 mm).

- zavarivanje u desno je tehnika gdje se najprije pomiče plamenik, a zatim žica (žica slijedi plamenik). Najprije se grije osnovni materijal (potrebno je duže vrijeme da se zagrije) pa se grije dodatni materijal da se istovremeno rastale. Primjenjuje se kod debljih limova.

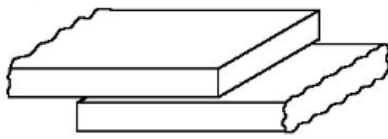
Kod jedne i druge tehnike plamen se drži na udaljenosti od 2 - 5 mm od mjesta zavarivanja - rastaljenog metala.



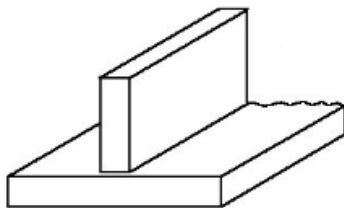
**Elementi zavarenog spoja**



**I spoj i I sa ojačanjem za čeono zavarivanje limova do 5mm, Y spoj i Y s ojačanjem za čeono zavarivanje limova do 5 - 12mm.**

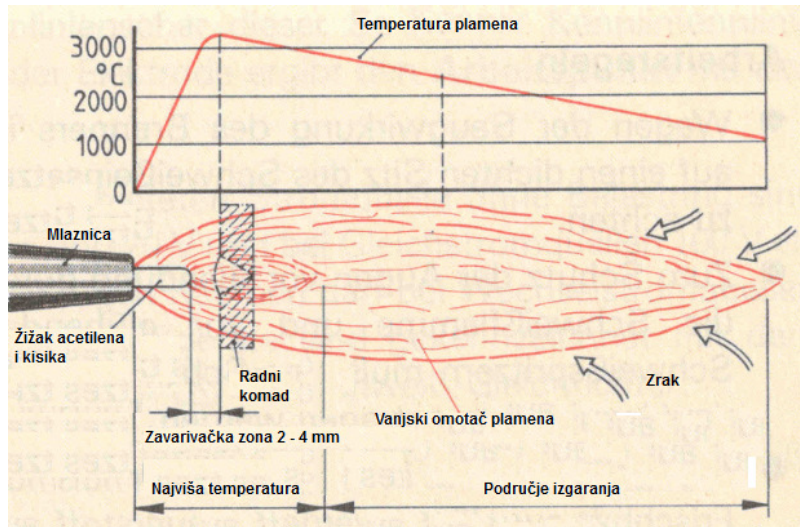


**Preklopni spoj za zavarivanje**



**T spoj koji može bit ravni za spajanje tanjih limova (do 5mm)**

ili



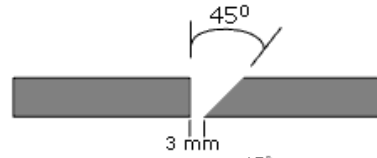
**Prikazana ovisnost temperature o udaljenosti od vrha mlaznice kod plinskog zavarivanja**

**8.2.3.1 Načini spajanja dva ili više elemenata za zavarivanje – vrste spojeva.** Ovisi o *debljini* materijala koji se spaja, a nose nazive prema slovu na koje asociiraju:

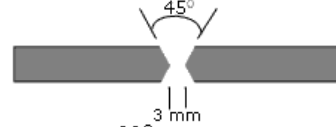
**I – spoj (otvoreni ili zatvoreni)** za čeono zavarivanje limova do 5mm.



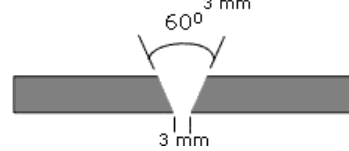
**Kosi spoj** za čeono zavarivanje limova od 5 do 20mm



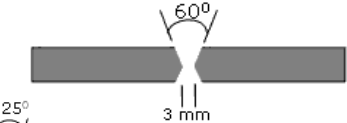
**dupli kosi spoj ili X spoj** za čeono zavarivanje limova minimalno 12mm



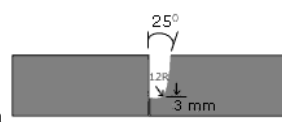
**V spoj** za čeono zavarivanje limova od 5 do 20mm



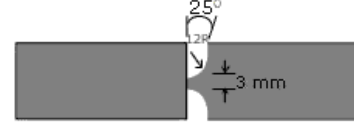
**dupli V spoj** za čeono zavarivanje limova minimalno 12mm



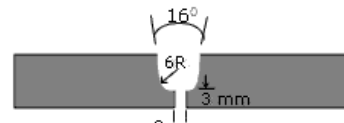
**J spoj** za čeono zavarivanje limova od 8 do 37mm



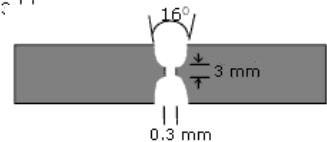
**dupli J spoj** za čeono zavarivanje limova minimalno 20mm



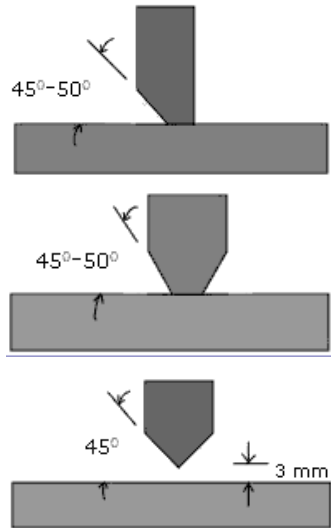
**U spoj** za čeono zavarivanje limova od 8 do 37mm



**dupli U spoj** za čeono zavarivanje limova minimalno 20mm







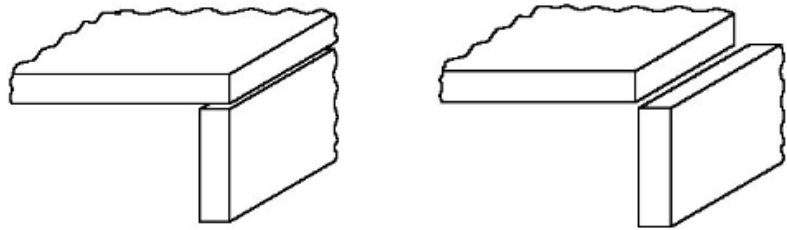
T spoj s jednim zakošenjem, s dva zakošenja ili K spoj za zavarivanje debljih limova



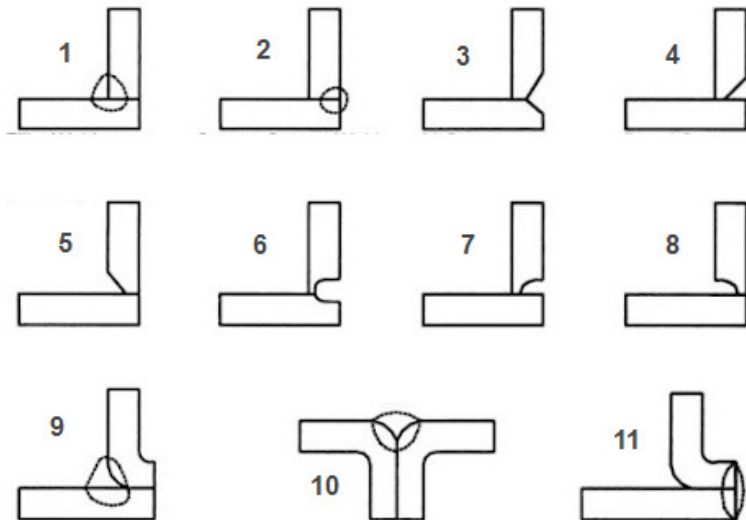
Rezanje plamenom – plamenik ima dodatni dovod čistog kisika koji izlazi u jakom mlazu i uklanja rastaljeni metal (metal izgara u velikoj količini kisika).



Plameno dubljenje slijedi načelo plamenog rezanja. Za razliku od procesa rezanja, koristi se zakrivljena mlaznica za autogeno rubljenje. Izgorjeli materijal (šljaka) se uklanja iz utora puštanjem veće količine kisika - mlazom. Ovaj proces je posebno pogodan za uklanjanje neispravnih zavora.



Zatvoreni i otvoreni kutni spoj pri zavarivanju tankih limova, dok se pri debljim materialima koriste standardizirani načini spajanja:



- 1 – Kutni spoj sa zavarenim unutarnjim kutom
- 2 – Kutni spoj sa zavarenim vanjskim kutom
- 3 – Kutni spoj sa zavarenim vanjskim V spojem
- 4 – Kutni spoj sa zavarenim vanjskim kosim spojem
- 5 – Kutni spoj sa zavarenim unutarnjim kosim spojem
- 6 – Kutni spoj sa zavarenim vanjskim U spojem
- 7 – Kutni spoj sa zavarenim vanjskim J spojem
- 8 – Kutni spoj sa zavarenim unutarnjim J spojem
- 9 – Kutni spoj sa zavarenim unutarnjim jednom flanžom
- 10 – Kutni spoj sa zavarenim flanžama
- 11 – Kutni spoj sa zavarenim rubom flanže

#### Prednosti plinskog zavarivanja su:

- lijepo i pravilno oblikovan spoj
- rad je neovisan o električnoj energiji
- postupak je upotrebljiv skoro za sve materijale
- i u svim položajima zavarivanja
- jeftina oprema (male investicije)
- lako održavanje opreme

#### Nedostaci plinskog zavarivanja:

- opasnost od eksplozije
- spor postupak
- velike deformacije radnog komada
- dugo vrijeme za uvježbavanje zavarivača

### 8.2.3.2 Siguran rad kod plinskog (autogeno) zavarivanja

Potrebno je :

- Koristiti odgovarajuću **osobnu zaštitnu opremu**.

Pri plinskom zavarivanju moraj se koristiti sva propisana osobna zaštitna sredstva kao što su:

- zaštitna kapa,
- zaštitne naočale s tamnim staklima,
- zaštitne rukavice za zavarivače,
- zaštitno odijelo,
- zaštitna pregača,
- zaštitne cipele s čeličnom kapicom,...



Osobna zaštitna oprema zavarivača

Redukcijski ventil za kisik



Gumene cijevi

#### Plinske boce (za plin i kisik)

- Osigurati plinske boce od pomicanja, naginjanja ili pada prije upotrebe na radnom mjestu

Čelične boce za plinove uvijek moraju biti pričvršćene objemnicama za zid, ili na posebnim kolicima zaštićene od pada.

Boce je najbolje držati izvan radnih prostorija, ali zaštićene od sunčevih zraka, mraza ili kiše. Boce moraju biti najmanje 3m udaljene od mjesta zavarivanja.

Boca s acetilnom mora stajati uspravno, ili pod kutom ne manjim od 45 stupnjeva prema vodoravnoj podlozi.



#### Redukcijski ventili

- provjeriti ulazni priključak da ne propušta
- provjeriti manometre te okretanjem ventila provjeriti da li pritisak postepeno raste



Redukcijski ventil za acetilen



#### Gumene cijevi

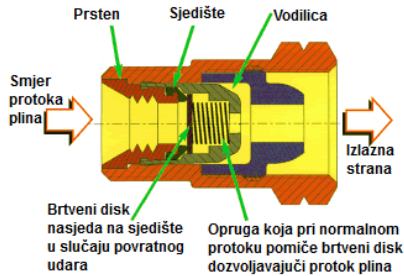
- provjeriti čijelu dužinu cijevi da li je u dobrom stanju, tj da li ima pukotina, rupa ili ispuščenja da li su dovoljno savitljive i da li su odgovarajuće boje za pojedinu vrstu plina (plava za kisik, crvena za gorivi plin). Da li su nepropusne naročito na spojevima, tj dobro pričvršćene na spojnim mjestima objemnicama (nikada žicom).



Brza spojnica

### Brze spojnice

- provjeriti da li su spojevi dobro pričvršćeni i da li su nepropusni pod pritiskom



Shema nepovratnog ventila

### Nepovratni ventili

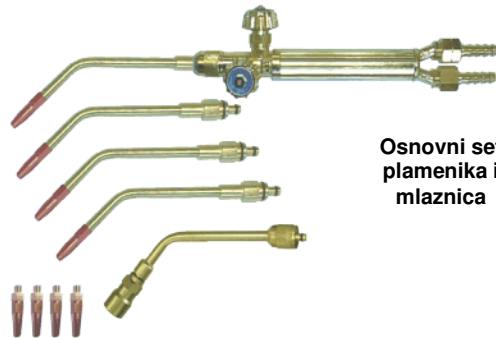
Nepovratni ventili su uređaji za zaštitu od povratnog udara plamena - djelovi velike važnosti. Sprječavaju povratak plamena prema bocama. Ugrađuju se na rukohvate i na redukcijske ventile. Provjeriti ispravnost montaže i funkcije

### Plamenici

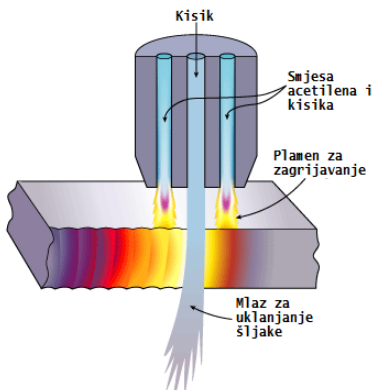
Su dijelovi koji se drže u ruci i na njima se regulira protok plina. Stoga je potrebno provjeriti priključke za plin i kisik, provjeriti nepropusnost ventila, provjeriti da li su mlaznice (dizne) u dobrom stanju te da ne propuštaju



Mlaznica za zavarivanje acetilenom



Osnovni set plamenika i mlaznica



Princip rada mlaznice za rezanje



Mlaznice za rezanje, dubljenje,...



Plamenik za rezanje

### Osnovni izvori opasnosti pri radu su:

- 1. Pad čeličnih boca s plinovima pod tlakom i oštećenje ventila.
- 2. Opekline pojedinih dijelova tijela zbog prskanja užarenih metalnih čestica ili pri dodiru s vrućim ili užarenim metalnim površinama.
- 3. Oštećenje očiju zbog štetnog zračenja na vidljivom području koje se očituje blještanjem.
- 4. Oštećenje očiju zbog štetnog ultraljubičastog i infracrvenog zračenja.
- 5. Oštećenje organizma udisanjem štetnih plinova, para i dimova koji nastaju pri zavarivanju.
- 6. Eksplozija plinske smjese zapaljivih plinova i kisika.
- 7. Požar zapaljivih tvari blizu mjesta zavarivanja.....

### 8.2.3.3 PITANJA

1. Što je zavarivanje ?
2. Kako se naziva mjesto spoja kod zavarivanja i koje karakteristike mora imati ?
3. Koja sva znanja uključuje zavarivanje ?
4. Što je zavarljivost ?
5. Kako se zavarljivost dijeli ?
6. Što sve utječe na zavarljivost ?
7. Koje se vrste pukotina pojavljuju kod loše provedenog zavarivanja ?
8. Kojim se metodama ispituje zavarljivost ?
9. Objasniti test na savijanje.
10. Koje probe zavarljivosti se koriste ?
11. Objasniti probu operativne zavarljivosti
12. Objasniti probu lokalne ili metalurške zavarljivosti.
13. Objasniti probu opće ili konstruktivne zavarljivosti.
14. Koje vrste zavarivanja se koriste – podjela zavarivanja?
15. Nabrojiti vrste zavarivanja pritiskom
16. Nabrojiti vrste zavarivanja taljenjem
17. Što je plinsko zavarivanje ?
18. Koji plinovi se koriste kod plinskog zavarivanja ?
19. Čemu služi dodatni materijal kod plinskog zavarivanja ?
20. Kako se skladišti acetylen i koje su mu karakteristike ?
21. Objasniti način paljenja kod plinskog zavarivanja i vrste plamena.
22. Koje su vrste plamena za zavarivanje ?
23. Koje sve dijelove ima postrojenje za plinsko zavarivanje ?
24. Koje su tehnike rada pri plinskom zavarivanju ?
25. Objasniti elemente zavarenog spoja.
26. Koji su dijelovi neutralnog plamena i koje su temperature u plamenu ?
27. Koje je mjesto u plamenu najpovoljnije za zavarivanje i zašto ?
28. Koji su načini spajanja ?
29. Objasniti čeonu i preklopno spajanje
30. Koje su vrste kutnih spojeva ?
31. Kako se reže plinom ?
32. Kako se dubi plinom ?
33. Koje su prednosti plinskog zavarivanja ?
34. Koji su nedostaci plinskog zavarivanja ?
35. Objasniti siguran rad pri plinskom zavarivanju.
36. Koji su najveći izvori opasnosti pri plinskom zavarivanju ?

## 8.2.4 REL