

# NERAZDVOJIVI SPOJEVI

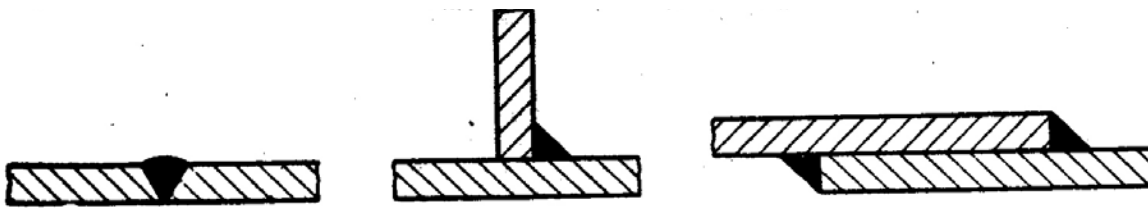
Predstavljaju spojeve koji se ne mogu rasklopiti bez razaranja. Ostvaruju se: zavarivanjem, lemljenjem, lepljenjem ili zakivanjem.

## 1. Zavareni spojevi

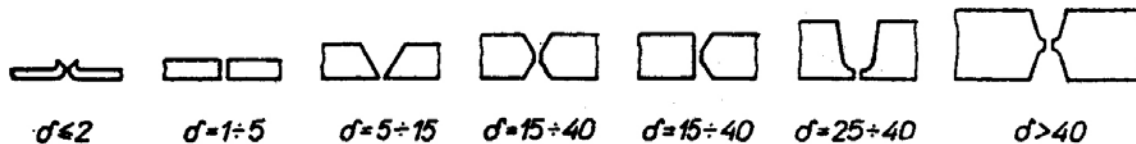
Koriste se pri spajanju delova od niskougljeničnog čelika, po pravilu elektrolučnim postupkom. Zavaruju se noseće konstrukcije (grede, stubovi, rešetke), konstrukcije od limova (sudovi, cevi, kutijasti nosači i druge konstrukcije), kao i kućišta, postolja, oslonci i drugi namenski mašinski elementi.

Šav u zavarenom spoju se formira topljenjem elektrode i površinskih delova koji se spajaju. Mešanjem ova tri materijala (dva spojena + elektroda) dobija se jedinstvena celina. Potencijalno slabo mesto u zavarenom spoju je tzv. zona uticaja toplote (ZUT). Ona nastaje u kontaktnoj zoni spojenog elementa sa varom, karakteristična je po krupnozrnoj strukturi i velikoj krtosti. Nastaje usled usijanja elementa pri zavarivanju, i dodatnom sagorevanju ugljenika. Posle hlađenja, lokalno zagrejanih delova konstrukcije, dolazi do pojave zaostalih napona i deformacija na samoj konstrukciji.

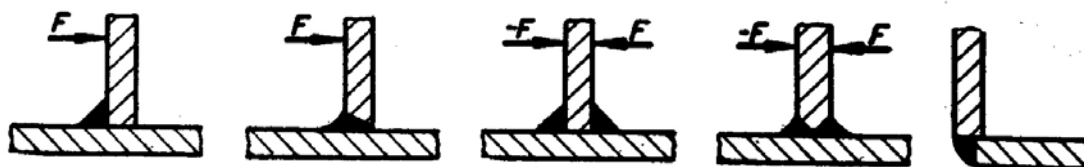
Vrste spojeva



Sl. 6.1 — Čeonni, ugaoni i preklopni zavareni sastavak



Sl. 6.2 — Pripremanje lima za čeono zavarivanje



Sl. 6.3 — Ugaoni sastavci

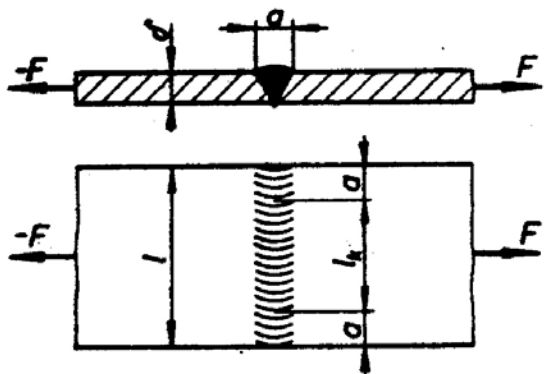
## STATIČKI PRORAČUN

Dozvoljeni naponi,  $\sigma_d = \zeta_z \cdot \sigma_{do}$   
 $\tau_d = \zeta_z \cdot \tau_{do}$

Faktor zavarivanja -  $\zeta_z$ ,

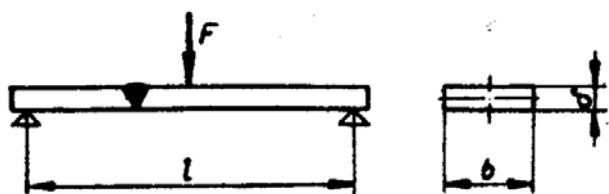
čeno	0.65 – 0.90, može i 1 za odlično zavarene
ugaono	0.60 - 0.70,
preklopno	0.60

*Veće vrednosti za pritisak, srenje istezanje i savijanje, najmanje za torziju.*



Sl. 6.4 — Čeoni sastavak opterećen na istezanje

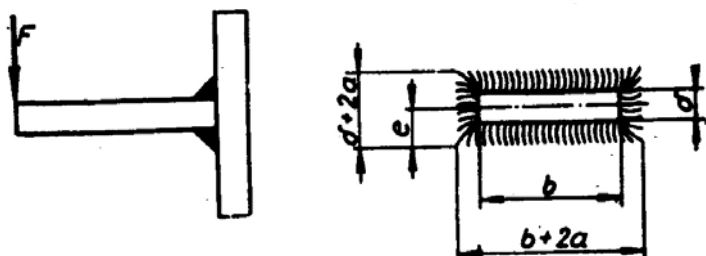
Istezanje:  $\sigma = \frac{F}{\delta \cdot l_k}$



Sl. 6.5 — Čeoni sastavak opterećen na savijanje

Savijanje:  $\sigma = \frac{M}{W_z}$

$$W_z = \frac{(b - 2a) \cdot \delta^2}{6}$$



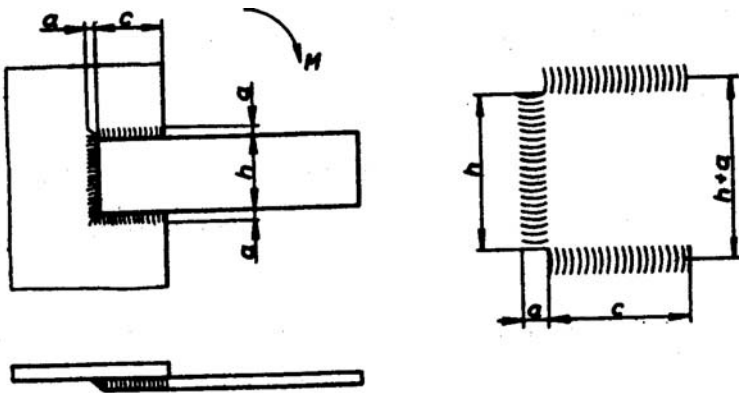
Sl. 6.6 — Ugaoni sastavak opterećen na savijanje

$$W_z = \frac{I_1 - I_2}{e}$$

$I_1$  – moment inercije preseka definisanog spoljnom konturom sastavka

$I_2$  – moment inercije preseka definisanog unutrašnjom konturom sastavka

$e$  – udaljenost najudaljenije tačke konture od neutralne ose (slika)



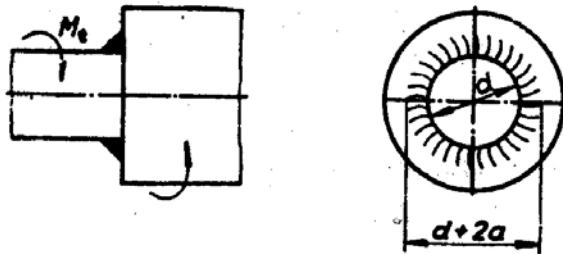
Sl. 6.7 — Preklopno zavareni sastavak opterećen momentom  $M$

Maksimalni moment koji može da prenese spoj, prema slici:

$$M = M_1 + M_2$$

$$M_1 = a \cdot c \cdot (h + a) \cdot \tau_d$$

$$M_2 = \frac{h^2 \cdot a}{6} \cdot \tau_d$$



Sl. 6.8 — Sastavak opterećen na torziju

Uvijanje:  $\tau = \frac{M_t}{W_o}$

$$W_o = \frac{(d + 2a)^4 \cdot \pi - d^4 \cdot \pi}{16 \cdot (d + 2a)}$$

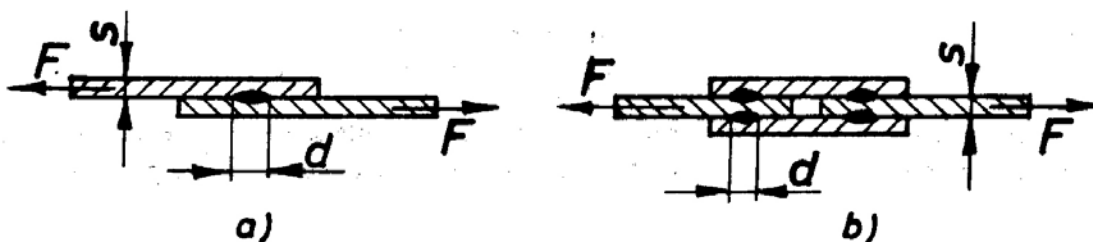
## DINAMIČKI PRORAČUN

Dinamički stepen sigurnosti zavarenog spoja:

$$S_D = \frac{\prod_{i=1}^5 \zeta_i \cdot \sigma_A}{\sigma_a}$$

- $\zeta_1$  - faktor vrste sastavka i opterećenja,
- $\zeta_2$  - faktor klase kvaliteta,
- $\zeta_3$  - faktor koncentracije napona ( $1/\beta_k$ ),
- $\zeta_4$  - faktor radnih uslova,
- $\zeta_5$  - faktor ostalih uticaja (korozijska, povišene temperat. ...)

## TAČKASTO ZAVRENI SASTAVCI

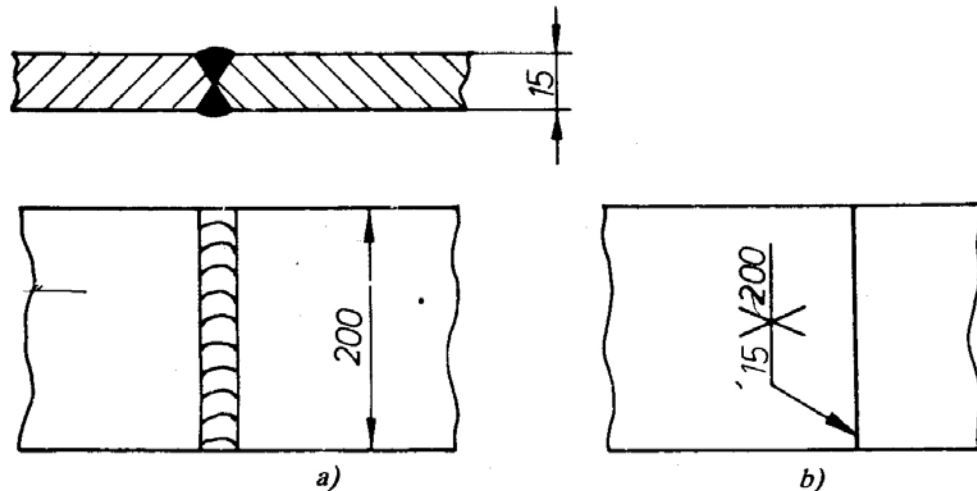


Sl. 6. 11. – Tačkasto zavareni sastavci: a) jednosečni, b) dvosečni

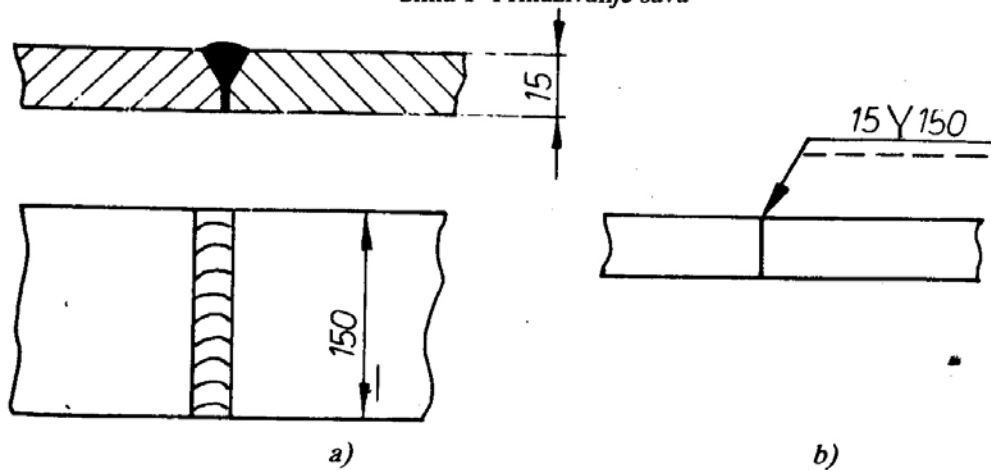
## PRIKAZIVANJE ŠAVOVA NA CRTEŽIMA

Skraćeni prikaz pojednostavljenog označavanja zavarenih šavova na tehničkim crtežima izrađen je na osnovu važećih standarda JUS C.T3.011 od 1986.g.(sa obaveznom primenom), koji je napisan u skladu sa ISO 2553 iz 1984.g. i JUS C.T3.012 od 1980.g. o označavanju postupaka zavarivanja na crtežima, koji je u skladu sa ISO 4063 iz 1978.g.

Svrha uprošćenog označavanja šavova vidljiva je iz *sl.1*, na kojoj je prikazan najpre dvostrani V-šav nacrtan prema pravilima tehničkog crtanja (*sl.1.a*), a zatim isti taj šav uprošćeno označen (*sl.1.b*); sličan primer daje *sl.2*, na kojoj je dat jednostrani Y-šav.












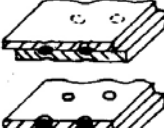
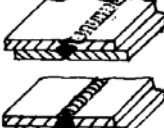


Slika 1- Prikazivanje šava



Slika 2 - Prikazivanje šava



Tablica 1 - Osnovne oznake

red. br.	Naziv	Izgled šava	Oznaka
1	Rubni šav između limova sa povijenim stranicama		∩
2	Jednostrani I šav		∥
3	Jednostrani V šav		∨
4	Jednostrani V šav sa jednom zakošenom stranicom		∨
5	Jednostrani Y šav		Y
6	Jednostrani Y šav sa jednom zakošenom stranicom		Y
7	Jednostrani U šav		∪
8	Jednostrani J šav		J
9	Potkoreni zavar, odnosno šav		∩
10	Ugaoni šav		∟
11	Šav u otvoru		∩
12	Tačkasti šav		○
13	Linijski šav		⊕

## Dopunske oznake









Kada je potrebno precizno prikazivanje oblika šava upotrebljavaju se i dopunske oznake, koje karakterišu oblik površine šava; ako dopunska oznaka nije uneta, znači da oblik površine šava nije utvrđen (tj. u datom slučaju nije od važnosti). Ukoliko nema dopunske oznake podrazumeva se da oblik površine šava nije posebno utvrđen.

Tablica 2

- Oblik površine šava	Oznaka
a) ravna	—
b) ispupčena	
d) izdubljena	

Nekoliko primera označavanja dopunskim oznakama dato je u tabeli 3.

Tablica 3

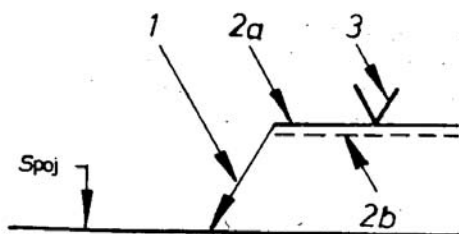
Naziv	Poprečni presek šava	Oznaka
Jednostrani V ravni šav		
Dvostrani V ispupčeni šav		
Ugaoni izdubljeni šav		
Jednostrani V ravni šav sa potkorenim ravnim, zavarom odnosno šavom		

## Mesto oznaka na crtežima

### Način prikazivanja

Pored oznake vrste šava (3) osnovni način prikazivanja prema standardu JUS C.T3.011 (sl.3) sastoji se i od:

- strelice (1) na spoj;
- pokazne linije (2), koju čine neprekidna (2a) i isprekidana (2b) linija (na osnovu njihovog međusobnog položaja utvrđuje se da li je lice šava na strani strelice ili na suprotnoj u slučaju simetričnog šava isprekidana linija se izostavlja);
- oznake brojne vrednosti mera.



Na slici je:

- 1 - strelica
- 2a - neprekidna (referentna) linija
- 2b - prekidna (identifikaciona) linija
- 3 - oznaka šav

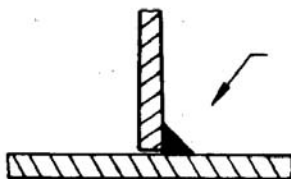
Slika 3

Ovim načinom prikazivanja definisano je mesto strelice, mesto pokazne linije i mesto oznake.

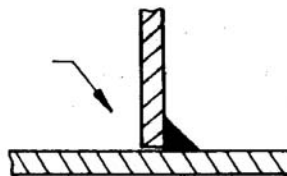
**Položaj strelice u odnosu na spoj**

Sledećim primerima definisan je položaj strelice u odnosu na spoj:

- sl.4.a spoj na strani strelice ;
- sl.4.b spoj na suprotnoj strani



a) Spoj na strani strelice

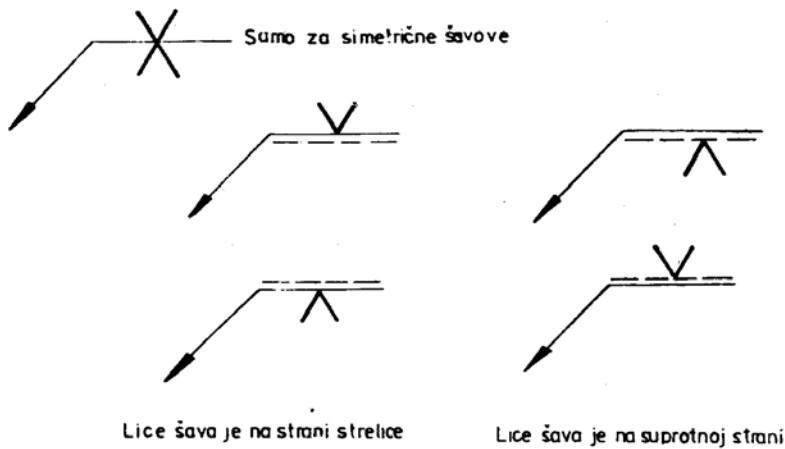


b) Spoj na suprotnoj strani

Slika 4

**Mesto oznake u odnosu na pokaznu liniju**

Oznaka se može nalaziti ispod ili iznad pokazne linije. Kada se oznaka postavi na strani neprekidne pokazne linije lice šava je na strani strelice, a kada je na strani isprekidane pokazne linije lice šava je na suprotnoj strani (sl.5).



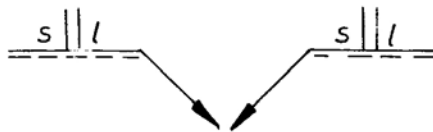
Slika 5

### Mere šavova

#### Opšte odredbe

Svaka oznaka za šav mora sadržati i brojne vrednosti mera. Mere se upisuju na sledeći način:

- glavne mere, koje se odnose na poprečni presek, pišu se na levoj strani;
- dužine šava i koraka pišu se na desnoj strani.



Slika 6

#### Prikazivanje osnovnih mera

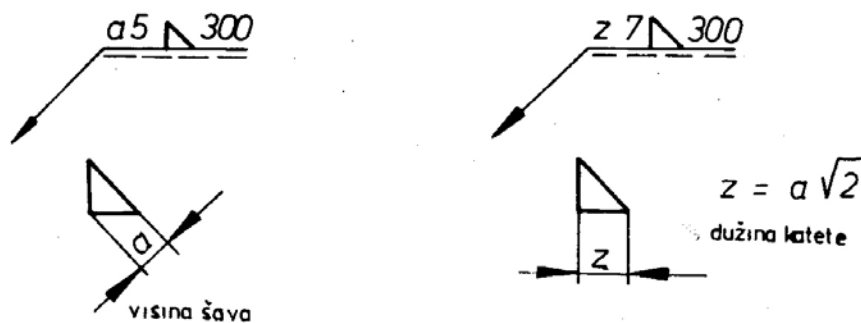
Mere kojima se označava položaj šava u odnosu na stranice elemenata spoja ne stavljaju se u oznaku šava, već se posebno unose na crtež.

Ukoliko ne postoji dopunska oznaka znači da je šav neprekidan duž celog radnog komada.

Kada ne postoji veličina  $s$  kod sučeonog vara znači da je šav u potpunosti provaren.

Odredjivanje mera ugaonih šavova vrši se na dva načina koja su data na *sl. 7*.

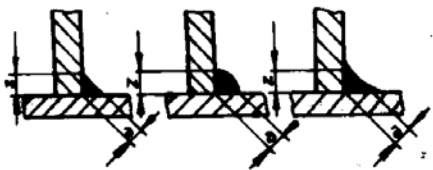


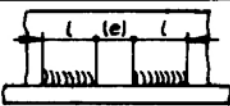
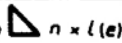
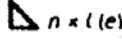




Slika 7

U slučaju šava u otvoru ili šava sa zakošenim stranicama, mere dna otvora se upisuju u otvoru.

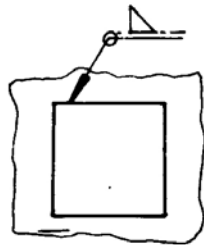
Tablica 4

R. br.	Vrsta šava	Definicija	Natpis
1	Neprekidan ugao-ni šav	 <p>a: visina najvećeg trougla koji se može ucrtati na preseku z: strana najvećeg trougla koji se može ucrtati na preseku</p>	 
2	Isprekidan ugao-ni šav	 <p>l: dužina segmenata šava e: rastojanje između susednih segmenata šava n: broj segmenata šava</p>	 

#### Dodatno označavanje

#### Šavovi po zatvorenoj konturi

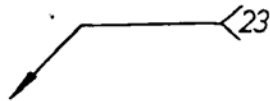
Kada je šav izveden oko celog komada (šav po zatvorenoj konturi) oznaka je krug, kao na sl.8.



Slika 8

**Označavanje postupaka zavarivanja**

U slučaju potrebe, postupci zavarivanja se označavaju brojem napisanim između dve grane račve na kraju pokazne linije, kao na sl.9. Ukoliko se primenjuje samo jedan postupak, označavanje se daje kao podatak na crtežu.



Slika 9

Tablica 5-Primeri upotrebe osnovnih oznaka

Red br	Oznaka	Izgled šava	Prikazivanje	Označavanje	
				u izgledu	u preseku
1	Jednostrani V šav				
2	V šav				
3	Ugaoni šav				
4					
5	Ugaoni šav				

Tablica 6-Primeri kombinacija osnovnih oznaka

Red. br.	Oznaka	Izgled šava	Prikazivanje	Označavanje	
				u izgledu	u preseku
1	Jednostrani V šav				
2	i koreni šav				
3	Dvostrani V šav				

Tablica 7-Primeri kombinacije osnovnih i dopunskih oznaka

Red. br.	Oznaka	Izgled šava	Prikazivanje	Označavanje	
				u izgledu	u preseku
1					
2					
3					

## 2. Lemljeni spojevi

Lemljenje je postupak kojim se metalni ili nemetalni delovi spajaju pomoću rastopljenog dodatnog materijala (lema) u nerazdvojnu celinu. Pri lemljenju se osnovni materijal ne topi, jer ima višu tačku topljenja od dodatnog materijala. Bolji rezultati pri lemljenju mogu da se postignu primenom "topitelja" (prašak, pasta) i/ili zaštitne atmosfere (gas ili vakum) u kojoj se vrši lemljenje. Uz zavarivanje, lemljenje je jedan od najstarijih postupaka spajanja metala (staro koliko i dobijanje i prerada materijala, oko 5000 - 6000 godina). U početku je lemljenje korišćeno za spajanje delova nakita iz zlata i platine, a kasnije i srebra. Danas se lemljenje koristi u masovnoj proizvodnji za spajanje čelika, aluminijuma i raznih drugih materijala (automobilska i avionska industrija široko primjenjuju lemljenje). Razvijeno je i lemljenje Zr, Ti, Be, metala sa visokom tačkom topljenja, kompozitnih materijala, kao i međusobno spajanje keramike i metala.

### Prednosti lemljenja:

1. Ekonomična izrada složenih sklopova iz više delova,
2. Povoljna raspodela naprezanja i povoljan prelaz toplote,
3. Mogućnost spajanja nemetala s metalima,
4. Mogućnost spajanja vrlo tanjih i debljih predmeta,
5. Mogućnost spajanja raznih metala,
6. Mogućnost spajanja poroznih materijala,
7. Mogućnost spajanja vlaknastih i kompozitnih materijala,
8. Zbog nižih radnih temperatura i svojstava dodatnih materijala kod lemljenih spojeva su niži zaostali naponi, nema promena kristalne rešetke, tako da su neka svojstva lemljenih spojeva povoljnija,
9. Postižu se precizne proizvodne tolerancije.

### Nedostatci lemljenja

1. Statička, ali i dinamička čvrstoća lemljenog spoja je niža (slabija) u odnosu na zavareni spoj.
2. Relativno visoka cena dodatnih materijala za lemljenje.

Materijali za lemljenje su: lemovi, topitelji, zaštitna atmosfera.

**Lemovi** su čisti materijali ili legure ili nemetali u obliku žice, štapa, lima, oblikovanih elemenata, zrna, praška ili čestica lema u topitelju.

**Topitelji** su nemetalni materijali. Oni se nanose na površine koje se žele lemiti nakon dobrog prethodnog čišćenja, da bi se odstranili postojeći oksidni slojevi i spriječilo stvaranje novih. Time se omogućuje vlaženje površina koje se spajaju. Vreme delotvornosti topitelja u obliku otopine je ograničeno. Površine osnovnog materijala i lema su pokrivene tankim slojem nečistoća zbog delovanja okoline na metal. One se sastoje obično od oksida, sulfida, karbonata i drugih proizvoda korozije. Ove nečistoće onemogućavaju stvaranje kontinuuma u lemljenom spoju, pa ih treba odstraniti pomoću topitelja.

**Zaštitne atmosfere** pri zagrevanju štite od oksidacije površinu spoja kao i lema. Sa istom svrhom se primenjuje i lemljenje u vakuumu.

**Princip nastajanja spoja.** Pri lemljenju se javljaju razne fizikalne pojave:

- difuzija materijala lema u osnovni materijal,
- adhezione sile između lema i površine osnovnog materijala,
- kvašenje površina lemom,
- površinski napon,
- kapilarno delovanje.

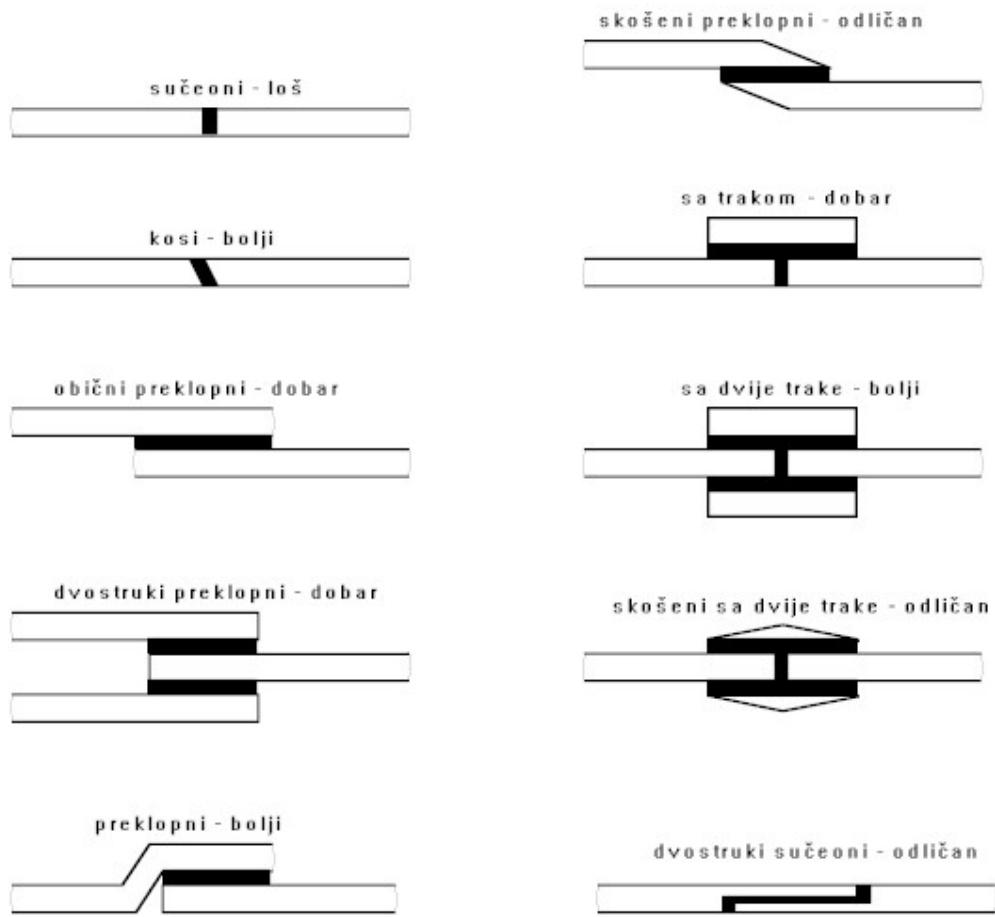
Pri lemljenju se osnovni materijal se zagreva, ali ne i topi. Dodatni materijal se topi jer ima niže tačku topljenja od osnovnog materijala, ulazi u zazor, vlaži lemljene površine. kapilarnim delovanjem se širi u zazor, dolazi do kristalizacije i ostvaruje se lemljeni spoj. U nekim slučajevima zazor je veći, pa se lemljeni spoj ostvaruje i bez kapilarnog delovanja, kada se koristi velika količina, obično skupog, dodatnog materijala. To je slučaj zavarivačkog lemljenja (zavarivačko lemljenje engl. brazewelding).

Karakteristične temperature.

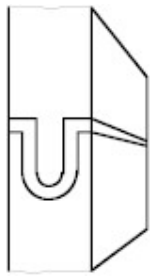
Radna temperatura je najniža temperatura radnog predmeta na mestu lemljenja. Zavisii od vrste lema i viša je od solidus temperature lema. Ako je radna temperatura iznad  $450^{\circ}\text{C}$ , tada se govori o tvrdom lemljenju, a ako je ispod, tada se govori o mekom lemljenju.

Kada se lemi pri temperaturama preko  $900^{\circ}\text{C}$ , tada se govori o visokotemperaturnom lemljenju. Zavarivačko lemljenje se vrši na temperaturama iznad  $450^{\circ}\text{C}$ .

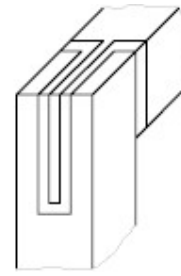
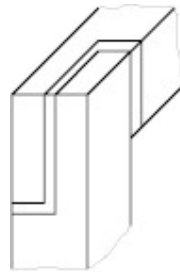
Ako je temperatura viša, tada će do spoja lakše doći ali se mogu pojaviti, zbog difuzije, intermetalni spojevi na granici, koji su krtii. Zato je bolje lemljenje da se vrši na niskoj temperaturi i tokom kraćeg vremena.



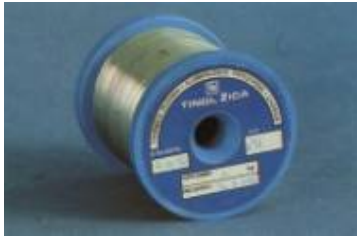
Tipovi spojeva za lemljenje



Izvedbe sučeonih spojeva sa žlebom



Ugaoni spojevi

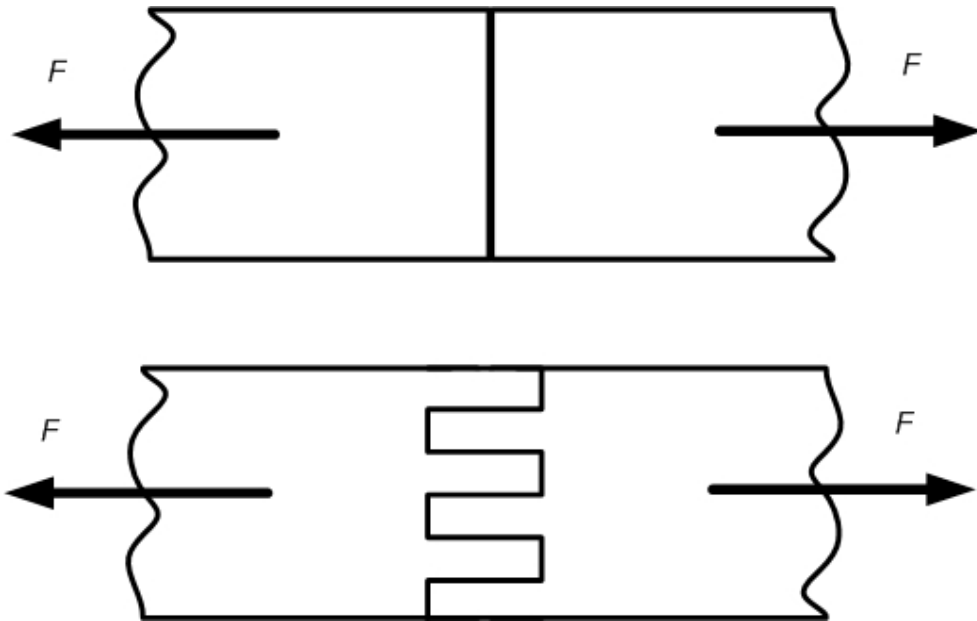


Vrsta legura i oznaka	Hemijski sastav		Dozvoljena odstupanja Sn%	Najniža radna temp. °C	Upotreba
	Sn%	Pb%			
S. Pb Sn20	20	80	+/- 0,50	275	za prevlake i spajanje metala; za ispune
S. Pb Sn 25	25	75	+/- 0,50	257	Za strojno i plameno lemljenje
S. Pb Sn 30	30	70	+/- 0,50	249	Za masinsko i plameno lemljenje
S. Pb Sn 33	33	67	+/- 0,50	242	Za lemljenje razmazivanjem
S. Pb Sn 35	35	65	+/- 0,50	237	Za lemljenje razmazivanjem
S. Pb Sn 40	40	60	+/- 1,00	223	Za lemljenje olova
S. Sn 50 Pb	50	50	+/- 1,00	200	Za opštee svrhe
S. Sn 60 Pb	60	40	+/- 1,00	185	Za fino lemljenje; u elektrotehnici
S. Sn 75 Pb	75	25	+/- 1,00	185	Za prevlake metala

### 3. Zalepljeni spojevi

Lepljenjem se najčešće spajaju nemetalni materijali, legure lakih metala. Izuzetno brz razvoj u hemijskoj industriji, doveo je do toga da ne postoji ograničenje u primeni lepкова i lepljenih spojeva. Spoj obezbeđuje sila athezije između lepka i zalepljenog elementa. Podrazumeva se da sila kohezije unutar lepka bude jača od pomenute athezije.

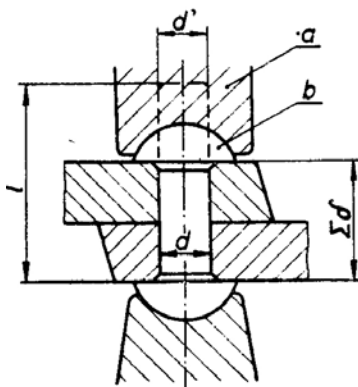
Pri formiranju lepljenog spoja trebalo bi težiti da sam spoj bude izložen smicanju.



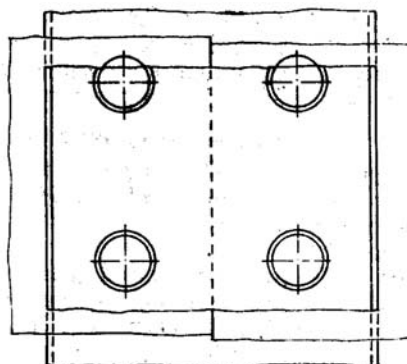
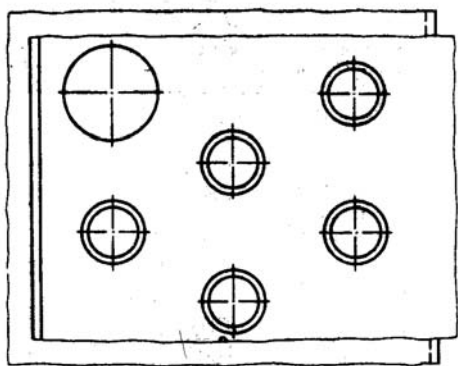
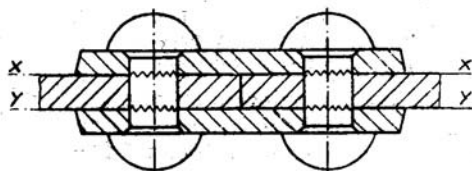
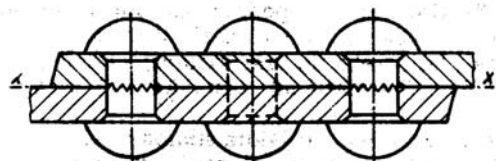


## 4. Zakovani spojevi

Predstavlja tzv. diskontinualno prenošenje opterećenja, odnosno prenošenje opterećenja lokalnog karaktera. Slično, poprečno opterećenim zavrtnjima ili tačkasto zavrarenim spojevima. U novije vreme zakovani spojevi se koriste u slučajevima kada ne mogu da se primene prethodno pomenuti spojevi. Zbog velike koncentracije napona, procenjuje se da se nosivost spojenih delova zakivcima umanjuje i do 15 %. Za razliku od drugih načina spajanja, kod zakovanih veza, ovo slabljenje se ne može nadomestiti odgovarajućim konstrukcijskim merama. Prednost zakovanih spojeva u odnosu na druge je mogućnost prigušenja vibracija spojenih delova kao i odsustvo krtoq loma u odnosu na zavarene konstrukcije.

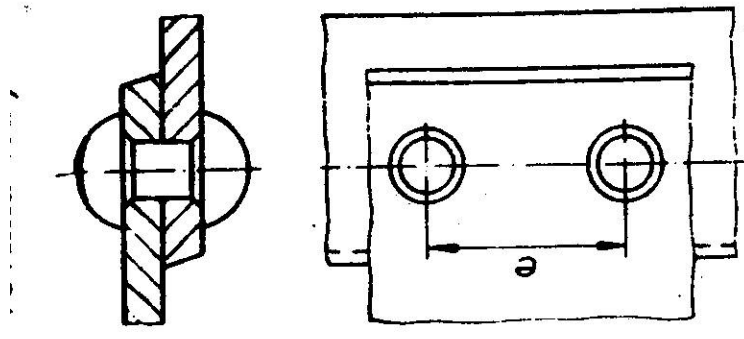


Sl. 5.1 — Zakovana veza ( $l$ -dužina stabla zakivka pre zakivanja — izrade druge glave,  $a$ -oblikač,  $b$ -završna glava)

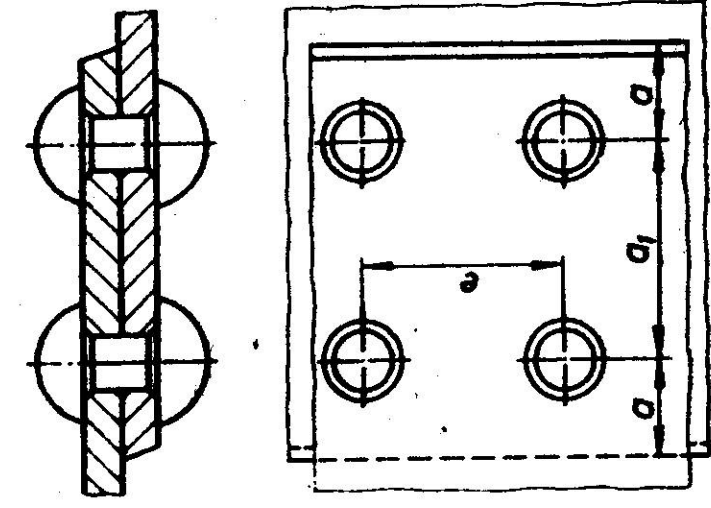


Sl. 5.2 — Jednosečeni toredni preklopni sastavak sa naizmeničnim rasporedom zakivaka

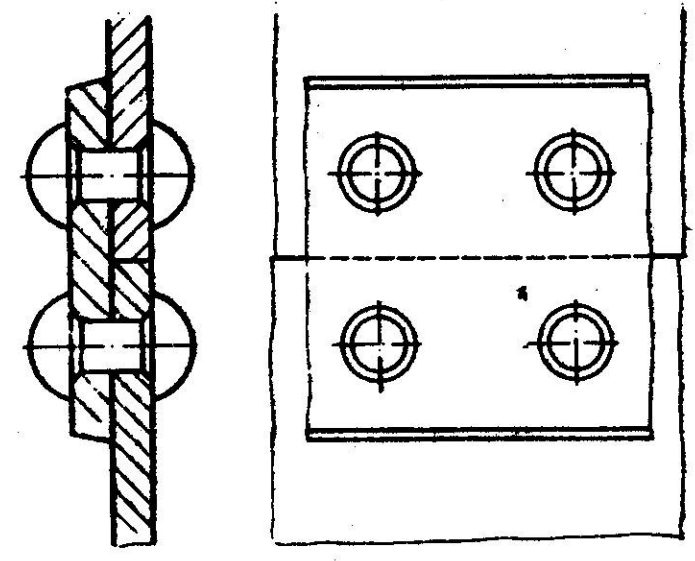
Sl. 5.3 — Dvosečni jednoređni sastavak sa dva podmetača



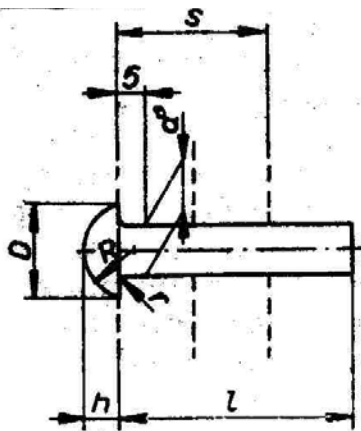
Sl. 5.4 — Jednosen-  
čni jednoređni pre-  
klopni sastavak



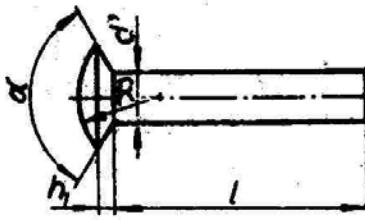
Sl. 5.5 — Jednosečni dvoređni  
preklopni sastavak sa parale-  
lnim rasporedom zakivaka



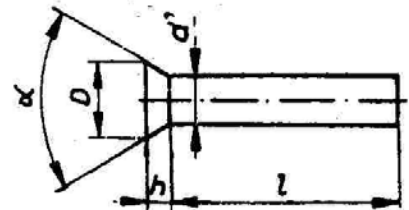
Sl. 5.6 — Jednoređni jednose-  
čni sastavak sa jednim pod-  
metačem



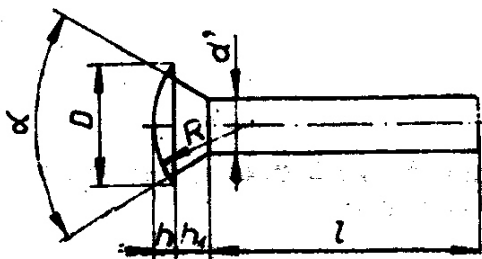
Sl. 5.7 — Zakivak sa punom glavom



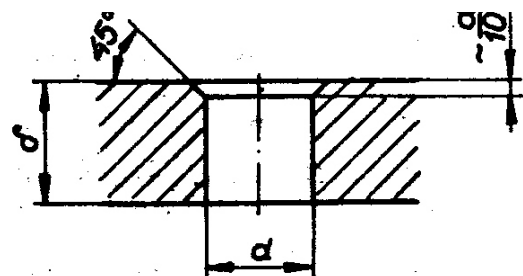
Sl. 5.8 — Zakivak sa delimično ukopanom glavom



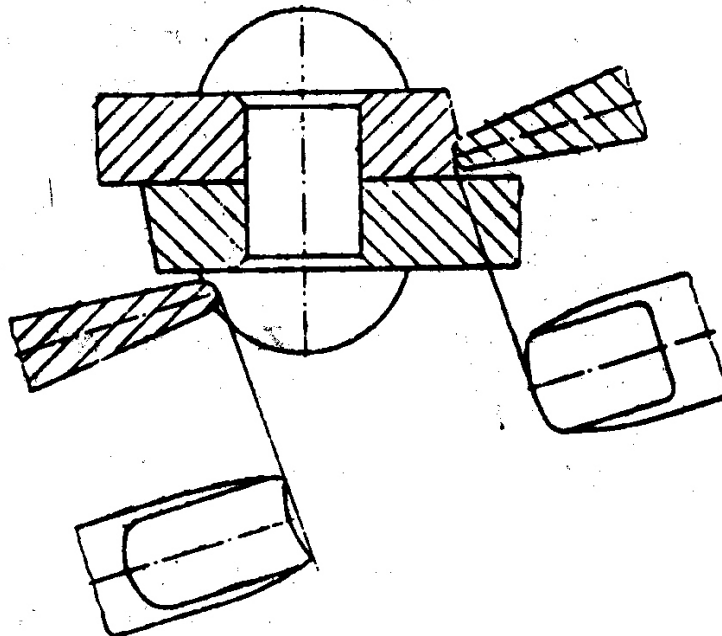
Sl. 5.9 — Zakivak sa potpuno ukopanom glavom



Sl. 5.10 — Zakivak sa poluukopanom glavom



Sl. 5.11 — Oblik otvora za zakivak



Sl. 5.22 — Podbijanje glave zakivka i lima

**Nosivost zakovanih spojeva** definisana je čvrstoćom zakivaka i čvrstoćom spojenih limova u oslabljenom preseku.

- Zakivak je izložen smicanju i zatezanju, kao i površinskom pritisku

Potreban odnos između prečnika zakivka i debljine lima dobija se optimizacijom nosivosti na smicanje i površinskog pritiska

- Limovi su opterećeni na zatezanje i smicanje

Rastojanje između zakivaka, dobija se optimaizacijom napona na zatezanje i smicanje.