



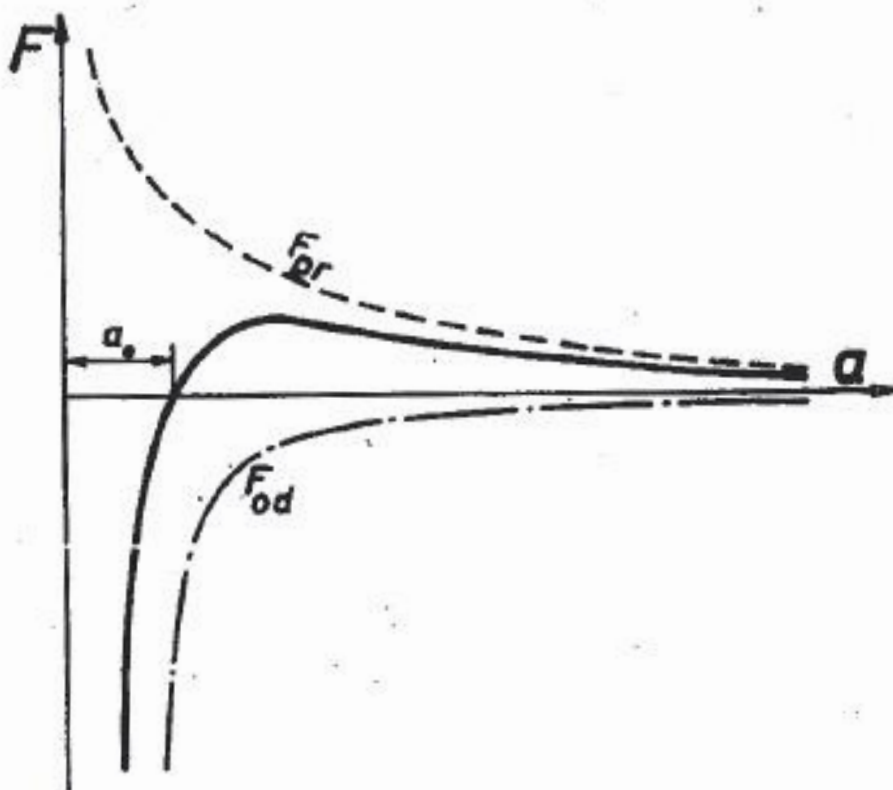
**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
KOSOVSKA MITROVICA**

**FIZIČKI OSNOVI ZAVARIVANJA
ELEMENTI ZAVAREN OG SPOJA I ŠAVA
POLOŽAJI ZAVARIVANJA**

**Dr Ivica Čamagić, vanredni profesor
Dr Živče Šarkoćević, vanredni profesor**

Kosovska Mitrovica, mart 2022

- ZAVARIVANJE JE POSTUPAK OSTVARIVANJA NERAZDVOJIVIH SPOJEVA



F_{pr} -privlacna sila

F_{od} -odbojna sila

Puna linija je rezultatna sila

$$F_r = F_{pr} + F_{od}$$

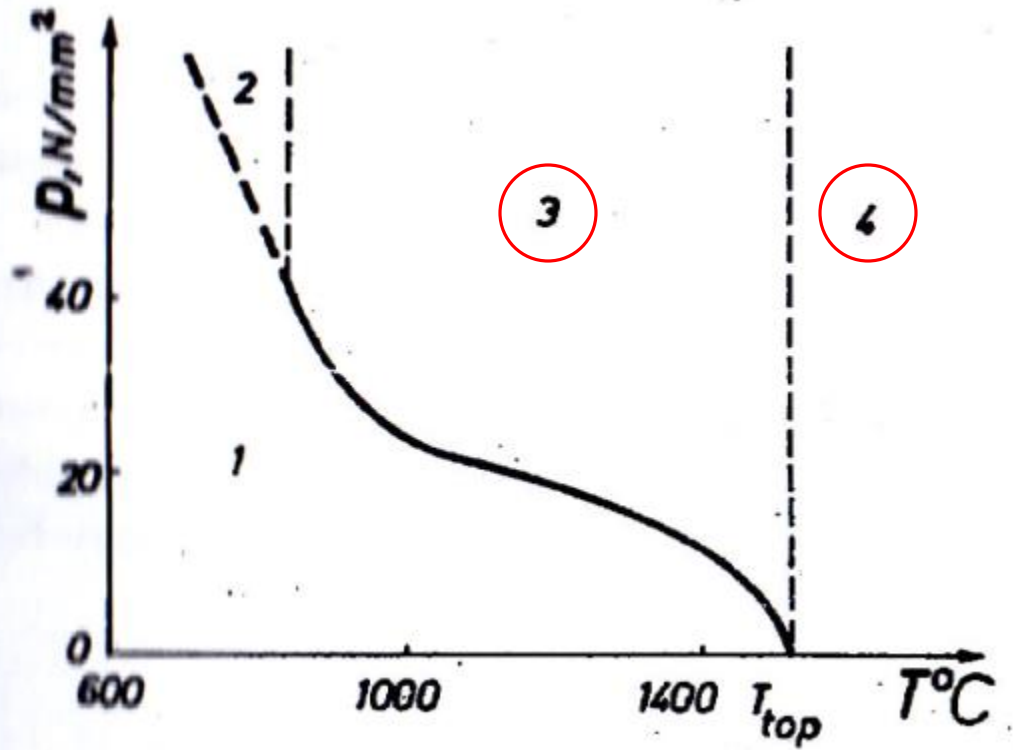
a_0 – međuatomo rastojanje, gde

je $F_r = 0$

*Atome je potrebno dovesti na rastojanje a_0 da bi došlo do spajanja!!!

**To može da se izvede topljenjem i pritiskom

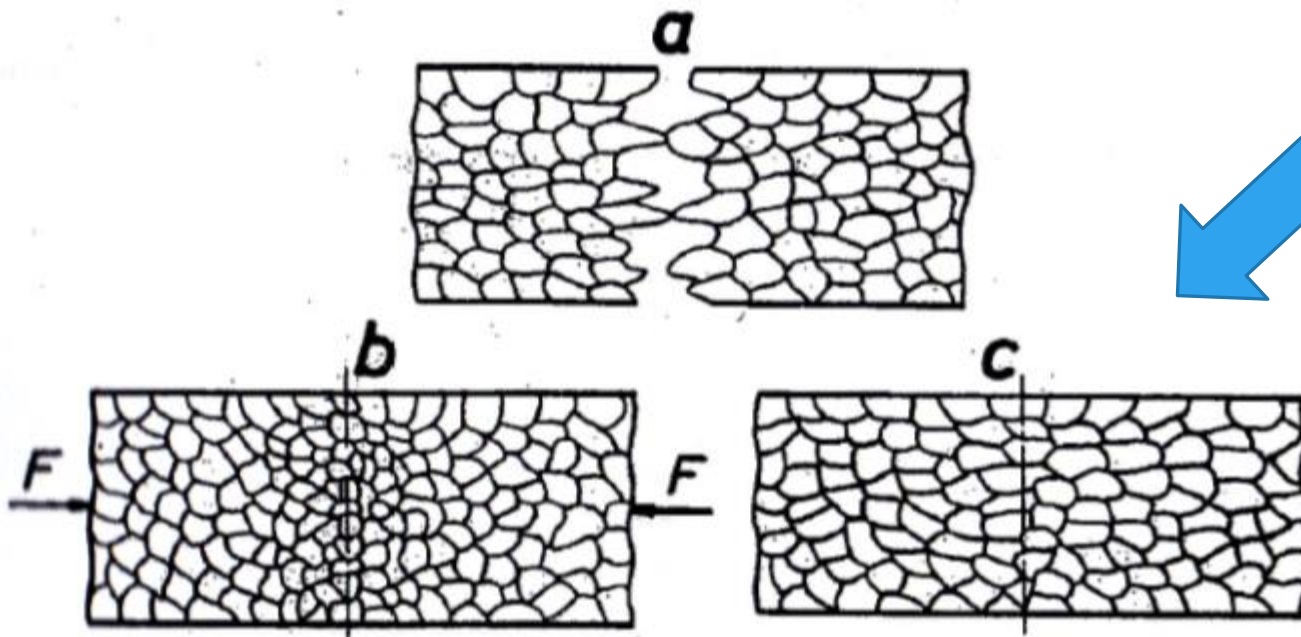
- UTICAJ TEMPERATURE I PRITISKA NA MOGUĆNOST ZAVARIVANJA (PRIMER ZA ČISTO ŽELEZO):



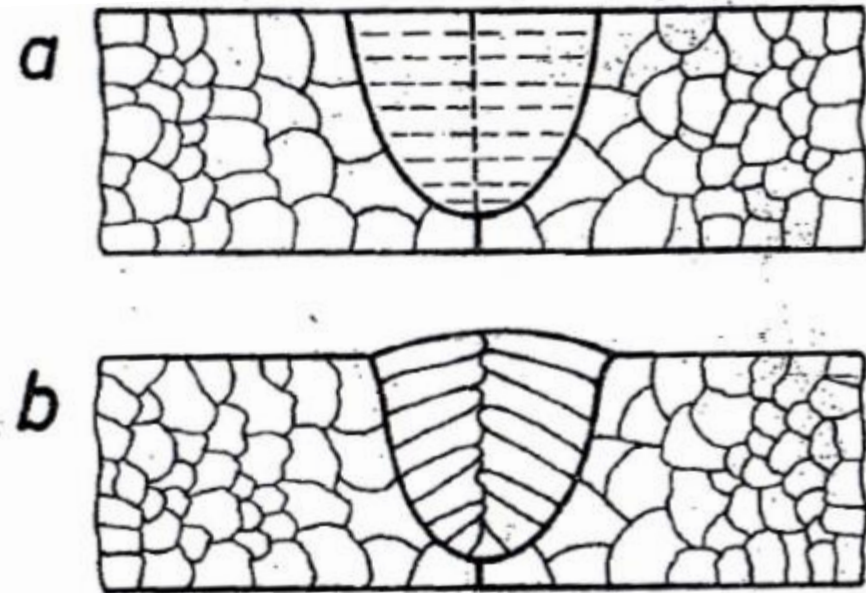
- 1 – oblast u kojoj nije moguće zavarivanje
- 2 – oblast delimično mogućeg zavarivanja
- 3 – oblast zavarivanja pritiskom
- 4 – oblast zavarivanja topljenjem

*Oblasti u kojoj se vrši zavarivanje su 3 i 4!!!

**Deformisana i
rekristalizovana
struktura
(Postupci
zavarivanja
pritiskom)**



*Slika I.2. Šema zavarivanja metala pritiskom
a - u stanju predhodne obrade;
b - posle delovanja pritiska;
c - posle difuzije i prekrystalizacije*



*Slika I.4. Šema zavarivanja metala topljenjem
a - lokalno rastapanje delova na mestu spoja;
b - završeni spoj posle očvršćavanja (kristalizacije)
tečnog metala.*

**Livena struktura
(Postupci
zavarivanja
topljenjem)**



- **PODELA POSTUPAKA ZAVARIVANJA:**

- a) ZAVARIVANJE PRITISKOM: KOVAČKO ZAVARIVANJE, ZAVARIVANJE TRENJEM (ROTACIONO I SA MEŠANJEM), ELEKTROOTPORNO ZAVARIVANJE, ZAVARIVANJE ULTRAZVUKOM,...

NAČELNO: SLOŽENIJE IZVOĐENJE, ZA DELOVE MANJIH DIMENZIJA, KOD NEKIH POSTUPAKA IZVANREDAN KVALITET ZAV.SPOJA

- b) ZAVARIVANJE TOPLJENJEM: GASNO, RUČNO-ELEKTROLUČNO, ZAVAR. POD PRAŠKOM, ZAVAR. U ZAŠITNOM GASU (SA TOPLJIVOM I NETOPLJIVOM ELEKTRODOM), ZAVAR. ELEKTRONSKIM SNOPOM, LASERSKO ZAVARIVANJE,...

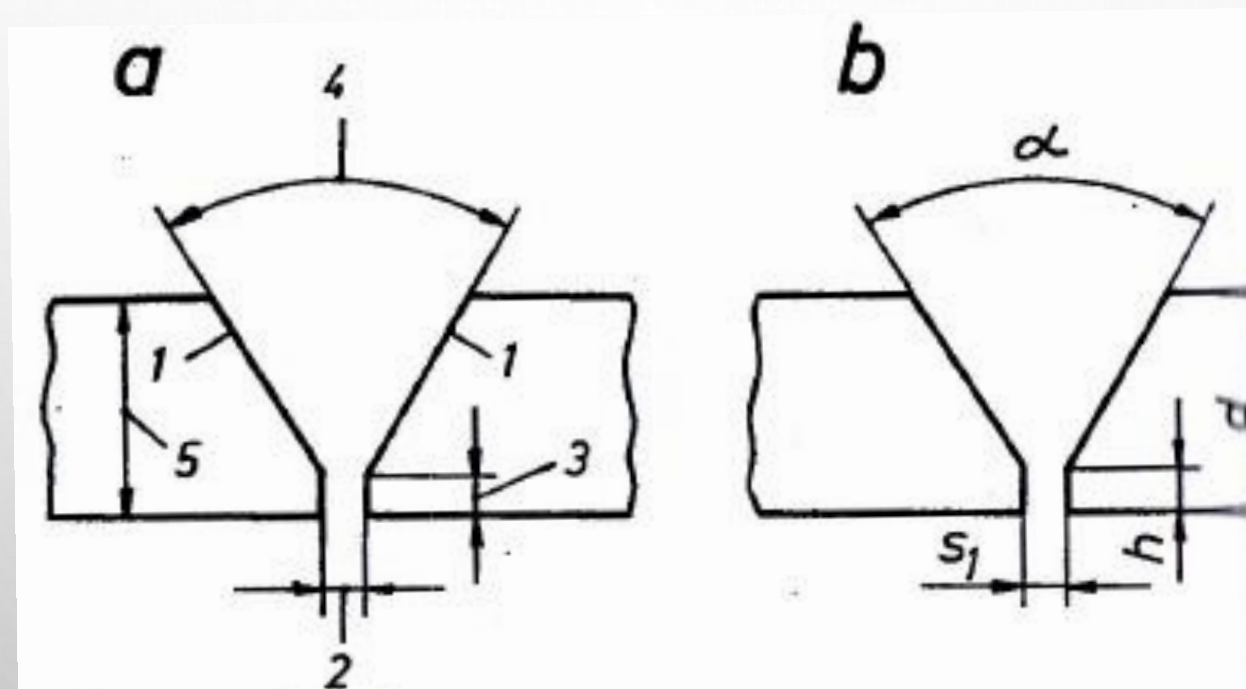
NAČELNO: JEDNOSTAVNIJE ZA IZVOĐENJE, NEOGRANIČENA VELIČINA DIMENZIJA RADNOG PREDMETA-ČEŠĆE SE PRIMENJUJE, LIVENA STRUKTURA ŠAVA NIJE OPTIMALNA ZA TEŠKO ZAVARLJIVE MATERIJALE I RAZNORodne MATERIJALE

ELEMENTI ŠAVA

- ŠAV PREDSTAVLJA OČVRSNUTI RASTOPLJENI METAL STVOREN ZAVARIVANJEM TOPLJENJEM
- ŠAV PREDSTAVLJA OČVRSNUTI RAZMEKŠANI METAL STVOREN ZAVARIVANJEM TRENJEM

- ELEMENTI ŽLEBA:

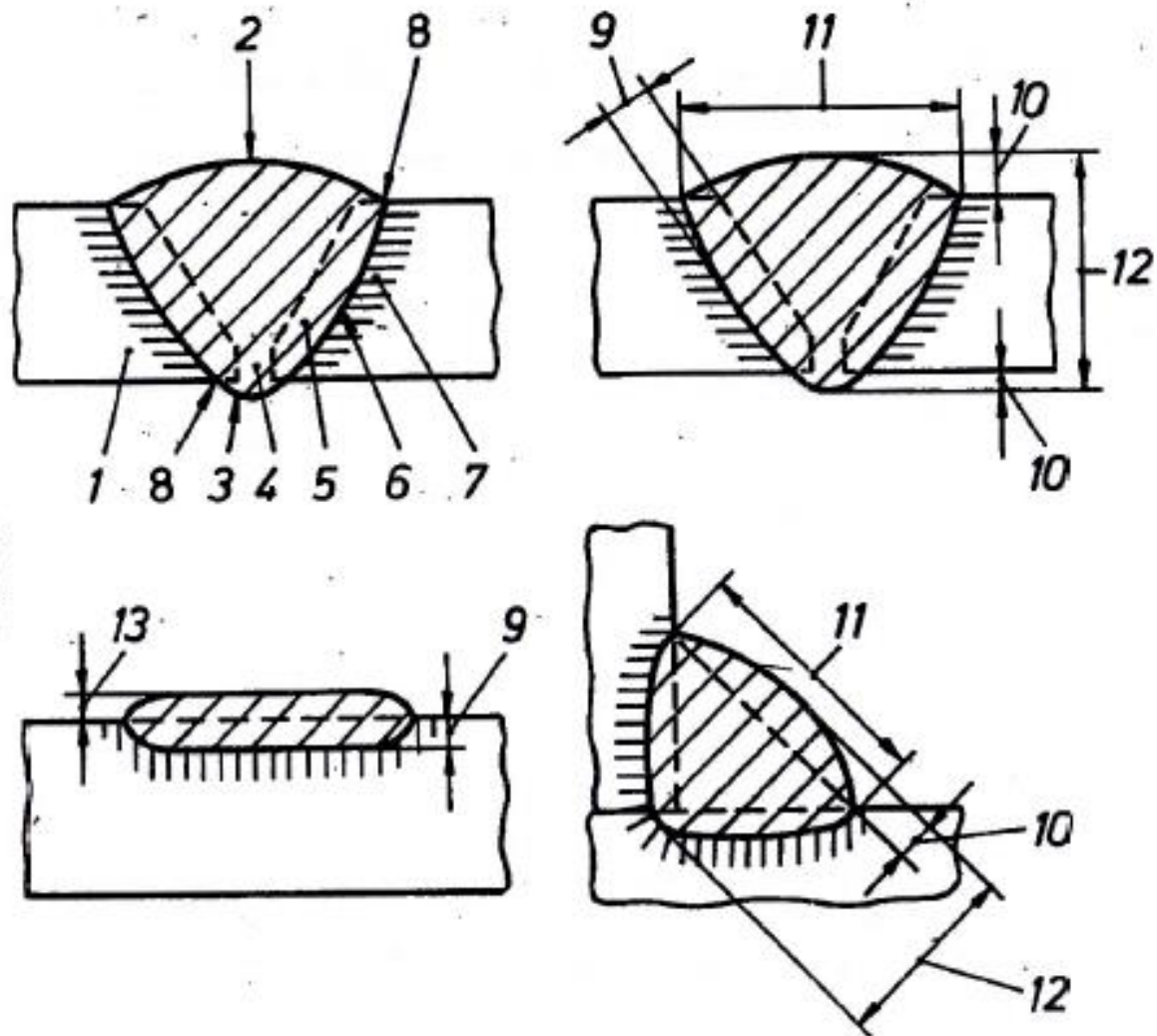
- ŽLEB JE PRIPREMLJENO MESTO NA OSNOVNOM MATERIJALU



Slika V.4. Elementi žleba

- a - 1 - stranica žleba;
- 2 - razmak u korenu žleba s_1 ;
- 3 - zatupljenje korena žleba h ;
- 4 - ugao otvora žleba α ;
- 5 - debljina osnovnog materijala d ;
- b - opšte oznake elemenata žleba.

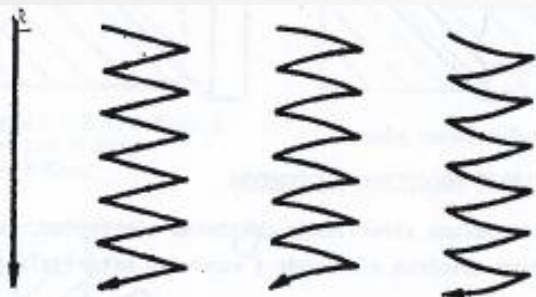
• ELEMENTI ŠAVA:



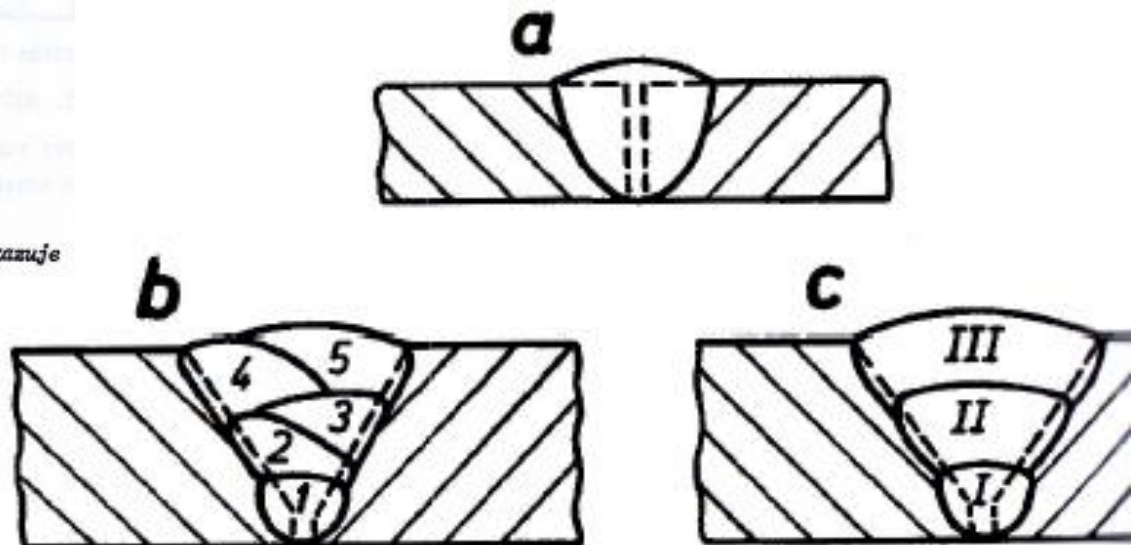
Slika V.5. Elementi šava

- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| 1 - osnovni materijal; | 8 - ivica šava; |
| 2 - lice šava (površina šava); | 9 - dubina uvara; |
| 3 - naličje šava; | 10 - nadvišenje šava; |
| 4 - koren šava; | 11 - širina šava; |
| 5 - uvar; | 12 - debljina šava; |
| 6 - granica uvara; | 13 - debljina navara. |
| 7 - zona uticaja toplote (ZUT); | |

- **ZAVAR:** - JE OČVRSNUTI RASTOPLJENI METAL NASTAO U JEDNOM PROLAZU
- **SLOJ:** - JE ZAVAR DOBIJEN POPREČNIM KLAĆENJEM VRHA ELEKTRODE

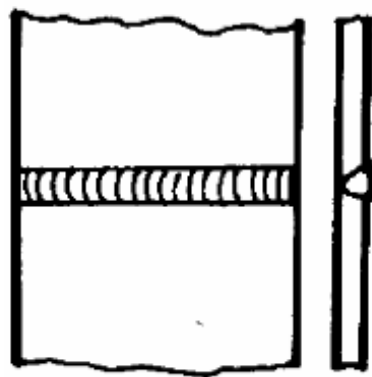


Slika V.18. Kretanje vrha elektrode pri zavarivanju (strelica pokazuje smer zavarivanja)

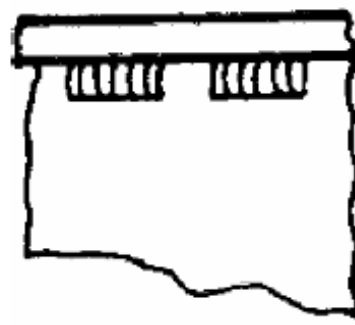


Slika V.12. Vrste šavova s obzirom na broj zavara
 a - jednoprolasni šav;
 b - višeprolasni šav;
 c - višeslojni šav;
 1, 2, 3, 4, 5 - redosled izvodjenja zavara;
 I, II, III - redosled izvodjenja slojeva.

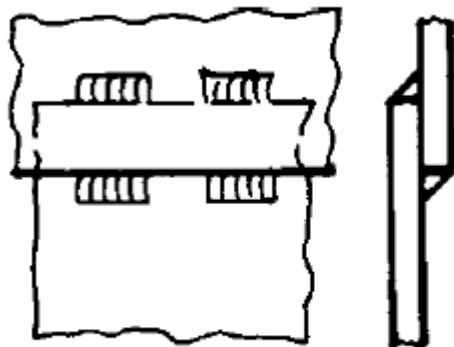
- VRSTE ŠAVOVA PREMA KONTINUITETU: - PORED NEPREKIDNOG ŠAVA (ZAPTIVNOG), POSTOJE I SLEDEĆE VRSTE ŠAVOVA:



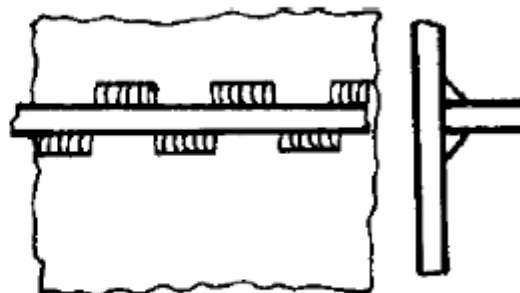
a) neprekidni



b) isprekidani



c) simetrično

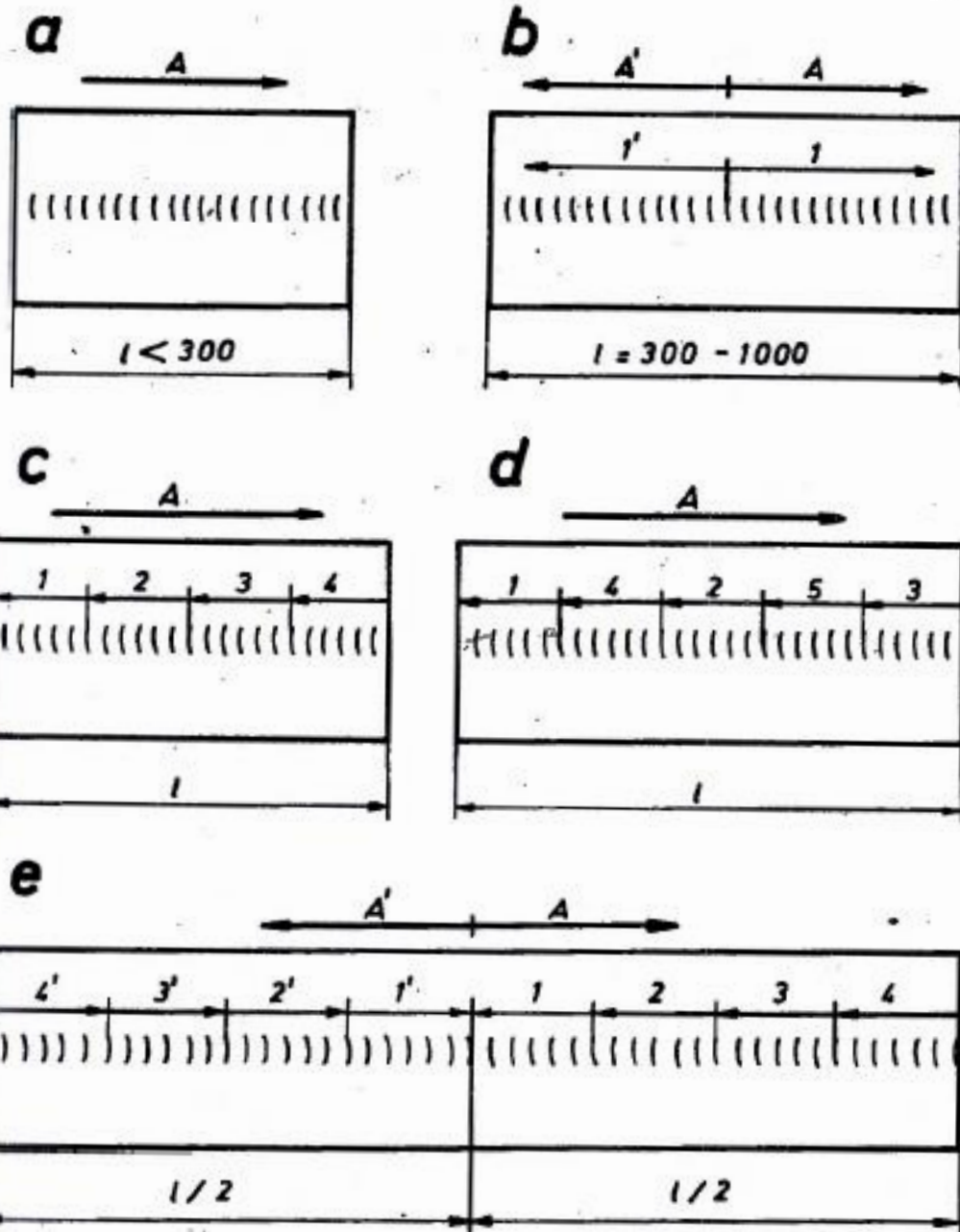


d) nesimetrično

- POSTUPCI
IZVOĐENJA
ŠAVOVA VELIKE
DUŽINE:

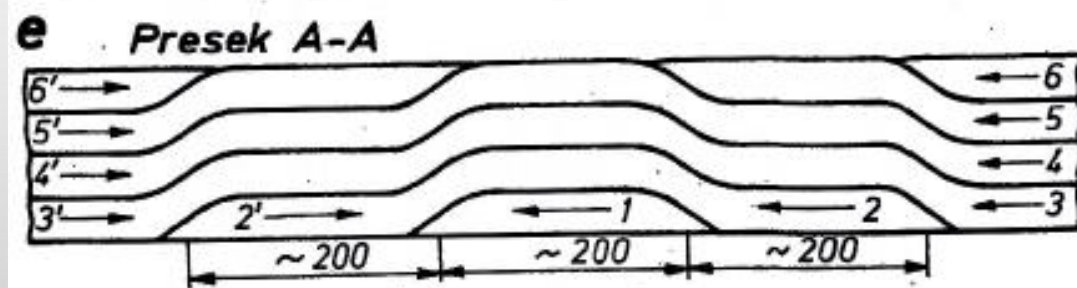
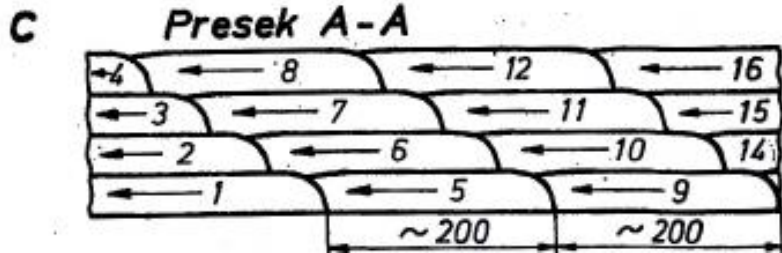
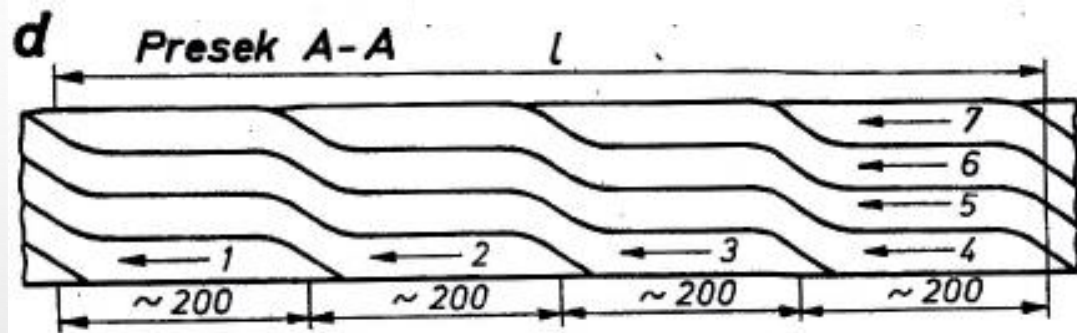
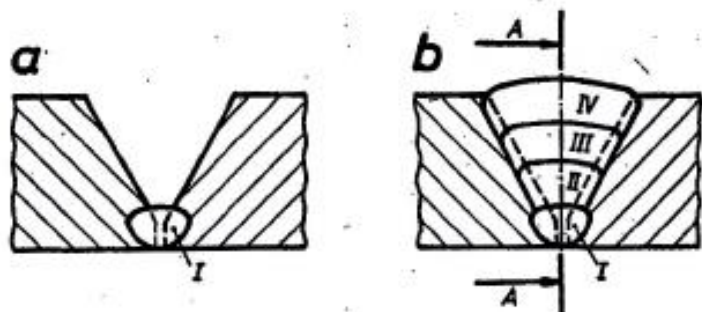
*DUŽINE B=C=D=
=300-1000 MM

**E PREKO 1000 MM



Slika V.32. Postupci izvođenja šavova
 - strelice A. i A' pokazuju opšti smer savarivanja;
 - strelice 1,2,3,4,5 i 1',2',3',4' pokazuju smer i redosled savarivanja povratnim korakom.

- POSTUPCI IZVOĐENJA ŠAVOVA KADA JE DEBLJINA OSNOVNOG MATERIJALA PREKO 20-25 MM:

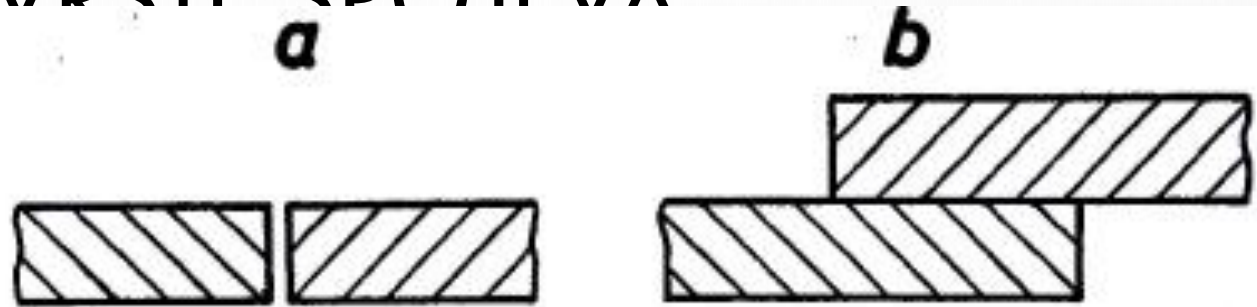


Slika V.34. Izvođenje šavova po dužini kada je debljina osnovnog materijala veća od 20-25 mm
 a - izvođenje prvog sloja;
 b - poprečni presek šavova prikazanih na slikama pod c, d i e;
 c - zavarivanje u blokovima;
 d - zavarivanje u sekcijama (kaskadno);
 e - zavarivanje u "piramidi";
 l - dozvoljena dužina sloja (vidi jednačinu III.45).

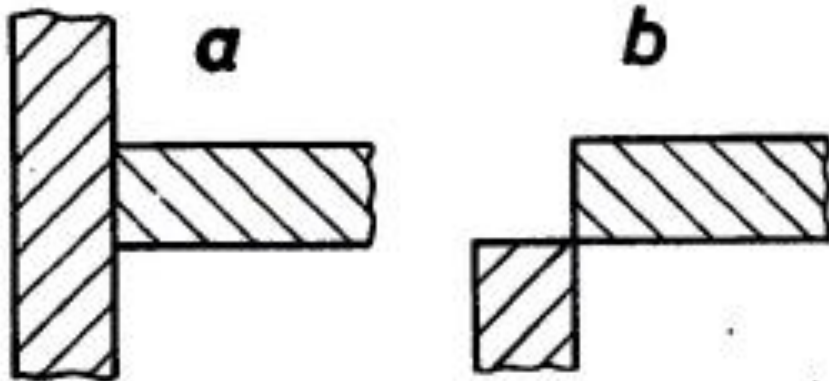
VRSTE SPOJEVA

- VRSTE

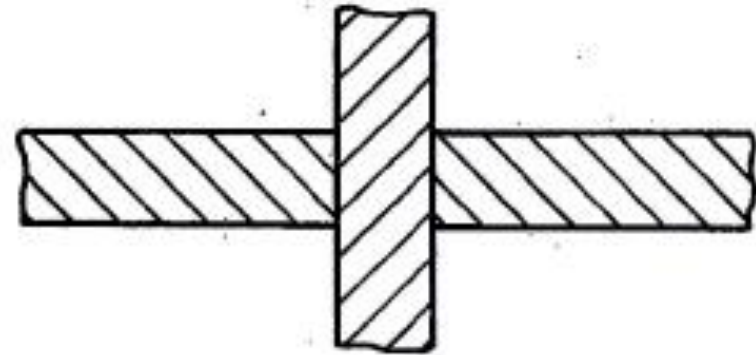
SPOJEVA:



Slika V.1. Sušecni i preklopni spoj

















Slika V.2. T-spoj i ivični spoj



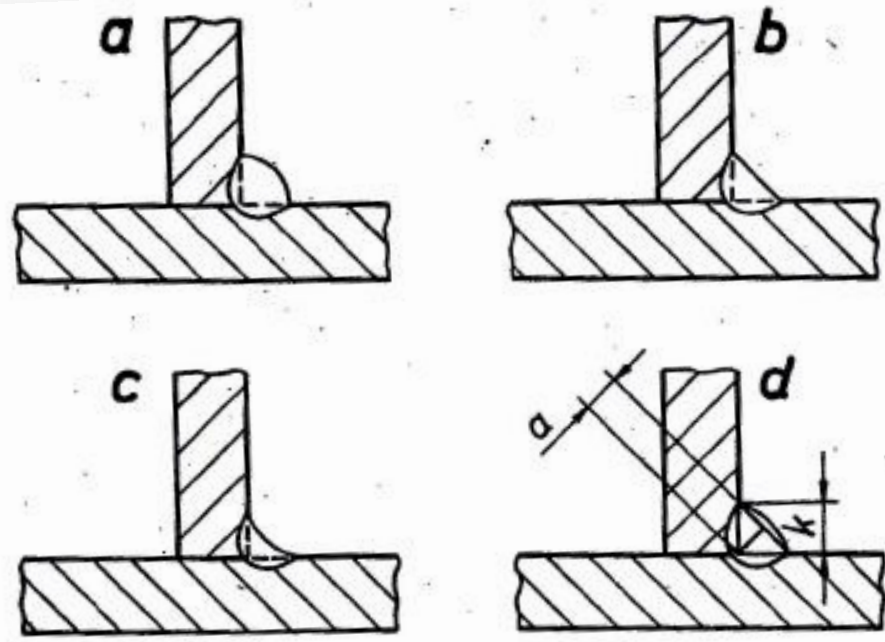
Slika V.3. Ukrani (krestasti) spoj

VRSTE ŠAVOVA:

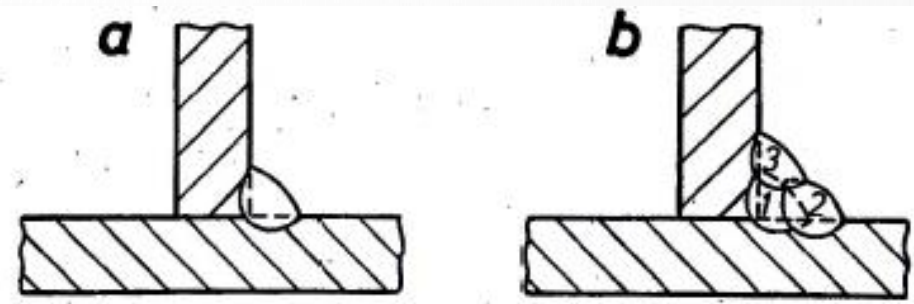
Broj	Opis	Slika	Simbol
1	Rubni šav limova sa savijenim krajevima ¹⁾ (sa potpunim topljenjem savijenih krajeva)		
2	I-šav		
3	V-šav		
4	1/2 V-šav		
5	Y-šav		
6	1/2 Y-šav		
7	U-šav		

OBLICI LICA ŠAVOVA:

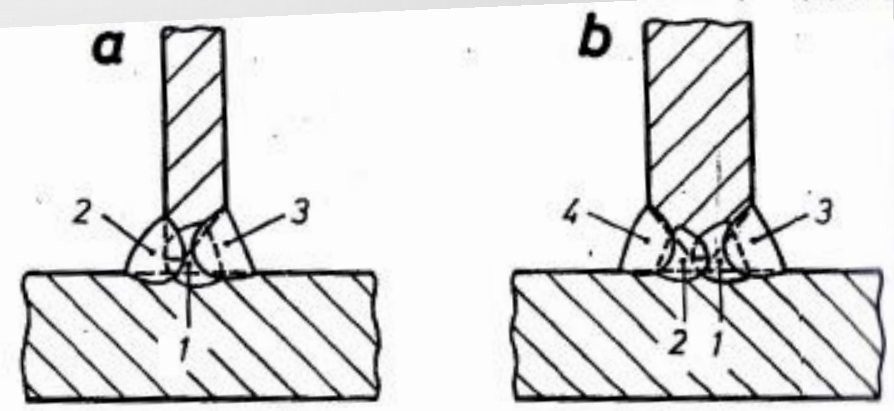
Za statička opterećenja:



Slika V.29. Preseci ugaonih šavova
 a - ispupčen ugaoni šav;
 b - ravan ugaoni šav;
 c - udubljen ugaoni šav;
 d - kateta šava k i računaska debljina a .

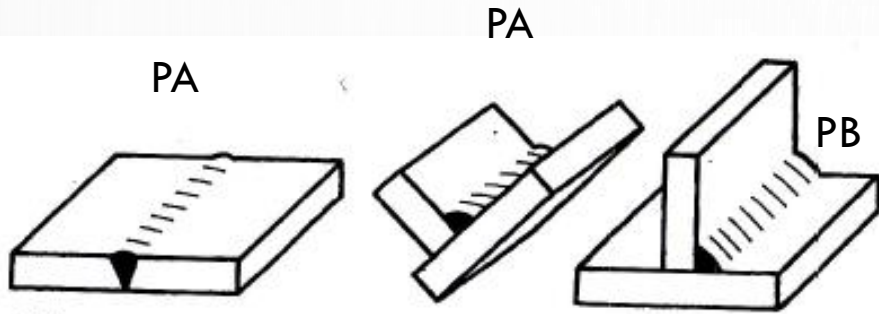


Za dinamička opterećenja:

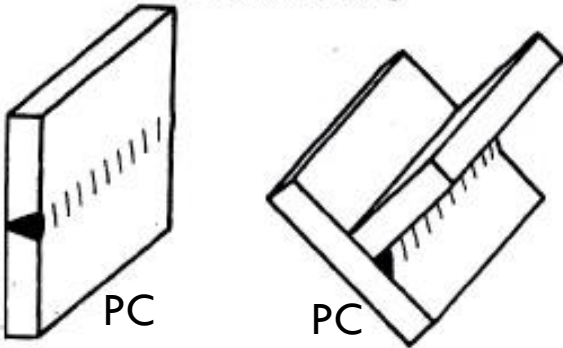


Slika V.30. 1/2 V i K-šav
 a - 1/2 V-šav; b - K-šav.

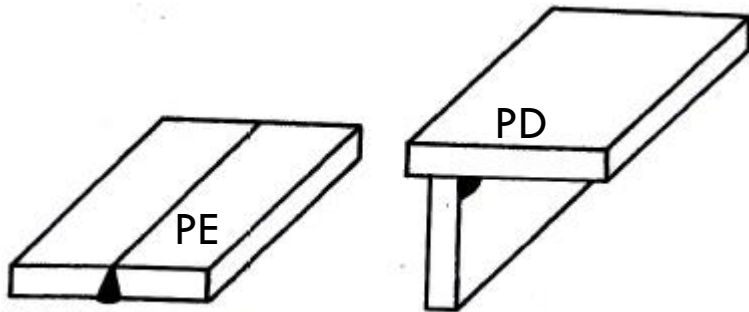
POLOŽAJI ZAVARIVANJA



Slika V.13. Horizontalan položaj

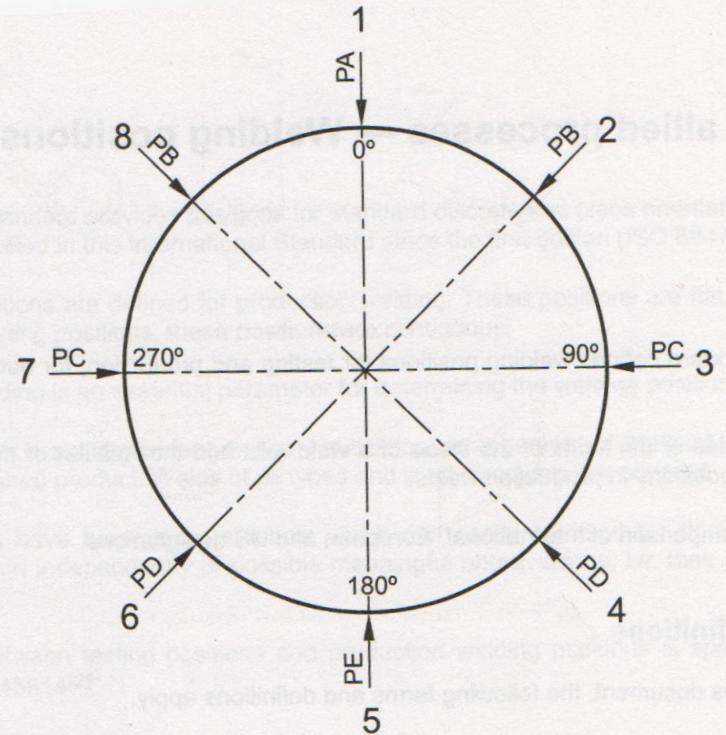
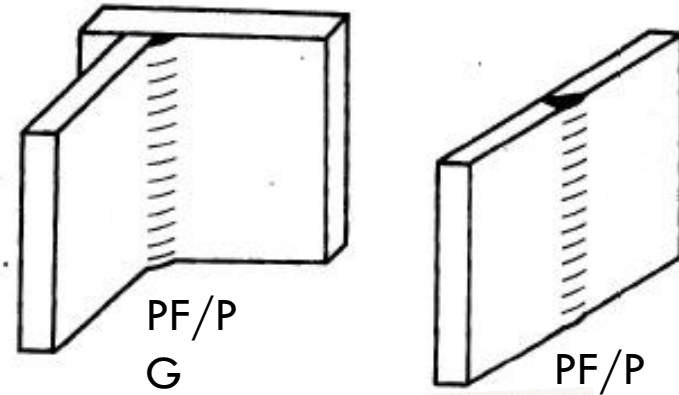


Slika V.14. Horizontalno-vertikalni položaj



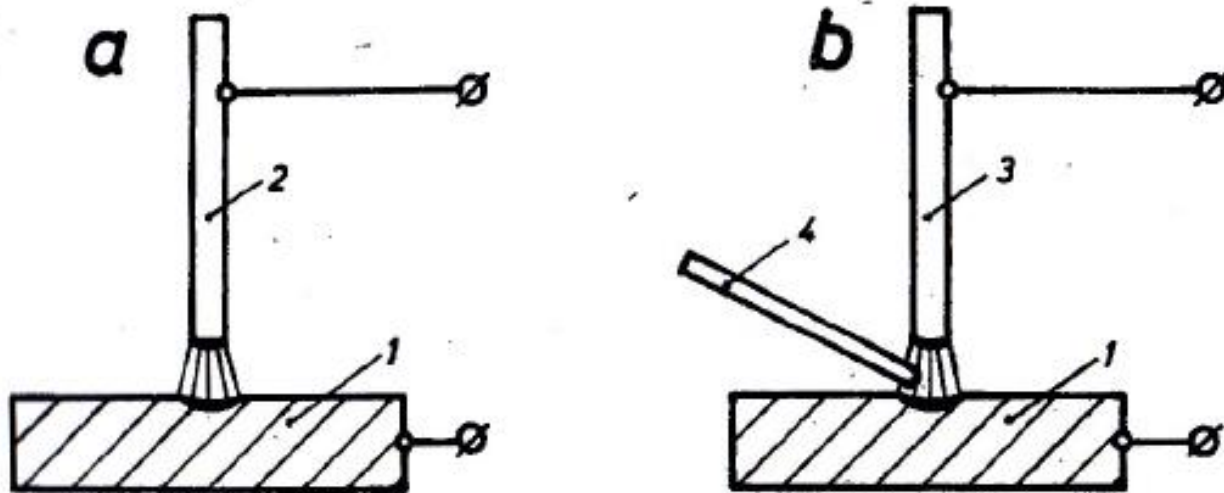
Slika V.16. Položaj iznad glave

Slika V.15. Vertikalni položaj



Zavarivački luk

- ZAVARIVAČKI LUK IZ STABILNO FIZIČKIČNO PRAŽNIFENI IZMEĐU ELEKTRODAMA

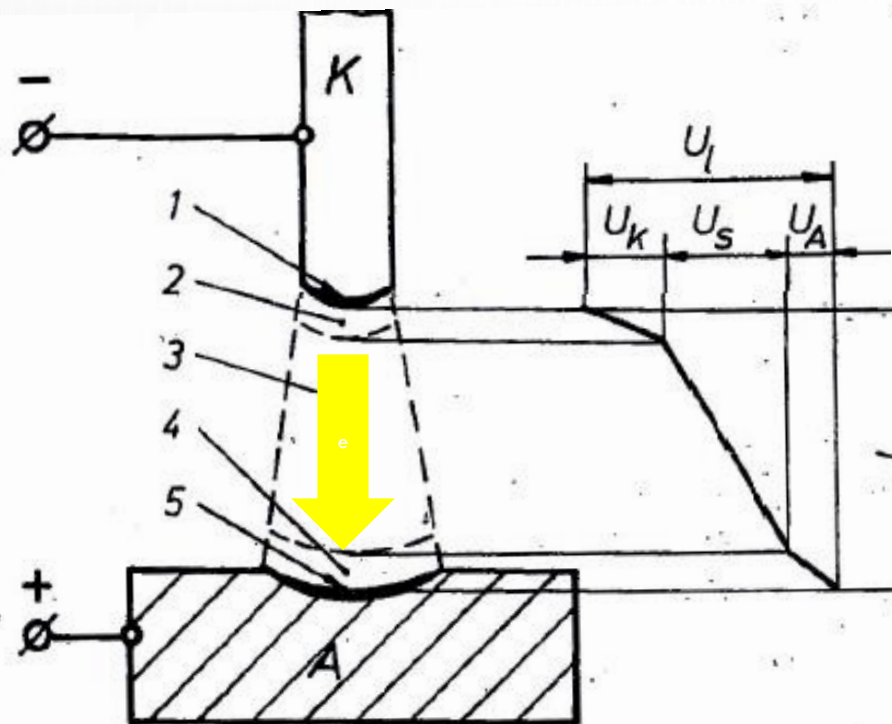


Slika II.2. Elektrolučno zavarivanje

- a - zavarivanje topljivom elektrodom;
- b - zavarivanje netopljivom elektrodom;
- 1 - osnovni materijal;
- 2 - topljiva elektroda;
- 3 - volframova elektroda;
- 4 - dodatni materijal.

- Zavarivački (električni) luk je osnovni izvor toplote kod zavarivanja topljenjem.
- Uspostavlja se najčešće između elektrode i osnovnog materijala, a može biti:
 - jednosmernom ili naizmjeničnom strujom,
 - sa pravom ili obrnutom polarnošću.

- prava polarnost (K-A)-na elektrodi je katoda (smer kretanja elektrona je od elektrode prema osnovnom materijalu-anoda se više zagreva):



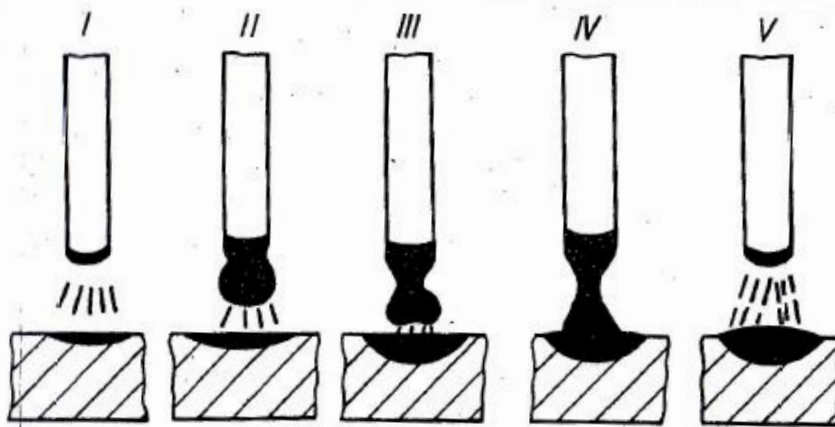
- U_l - napon luka, u V;
- U_K - katodni pad napona, u V;
- U_A - anodni pad napona, u V;
- U_S - pad napona u stubu luka, u V;
- 1 - katodna mrlja;
- 2 - katodna oblast;
- 3 - stub luka;
- 4 - anodna oblast;
- 5 - anodna mrlja;
- l - dužina luka, u mm.

Slika II.3. Šema zavarivačkog luka

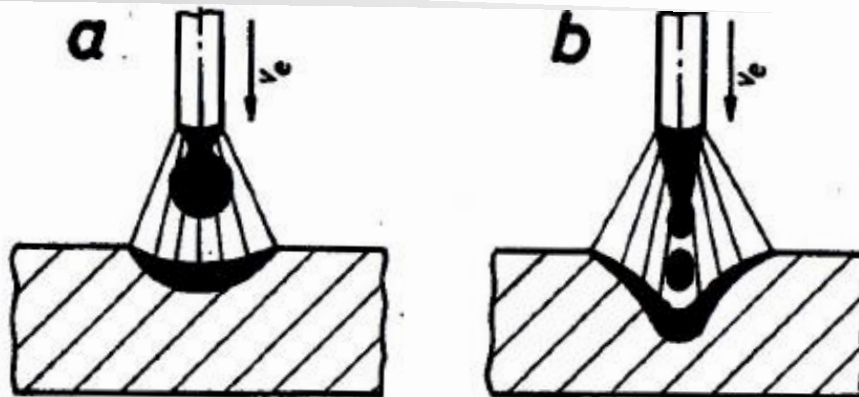
- obrnuta polarnost (A-K)-na elektrodi je anoda (smer kretanja elektrona je od osn.materijala prema elektrodi), npr. zavarivanje aluminijuma postupcima REL i MIG, zbog razbijanja oksida Al_2O_3

- Prenos metala sa elektrode na osnovni materijal:

1. Krupne kapi (I_z do 100 A)
2. Sitne kapi (I_z preko 100 A)



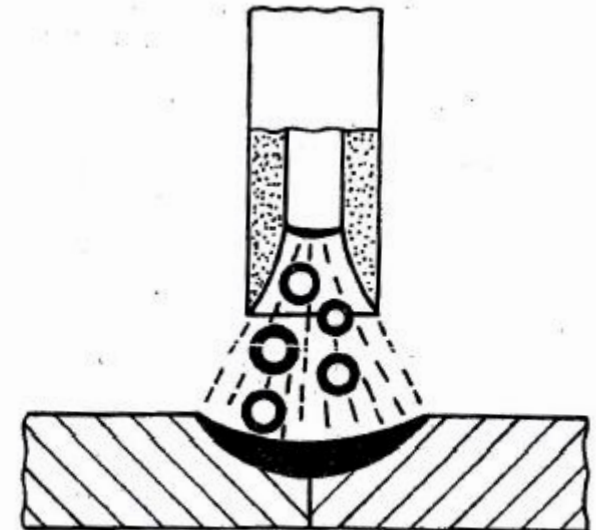
Slika II.8. Prenos metala u luku pri zavarivanju sa kratkim lukom



Slika VII.3. Šema prenosa metala pri zavarivanju topljivom elektrodom u zaštiti inertnog gasa
a - u vidu krupnih kapi tečnog metala;
b - u vidu mlaza sitnih kapi tečnog metala.

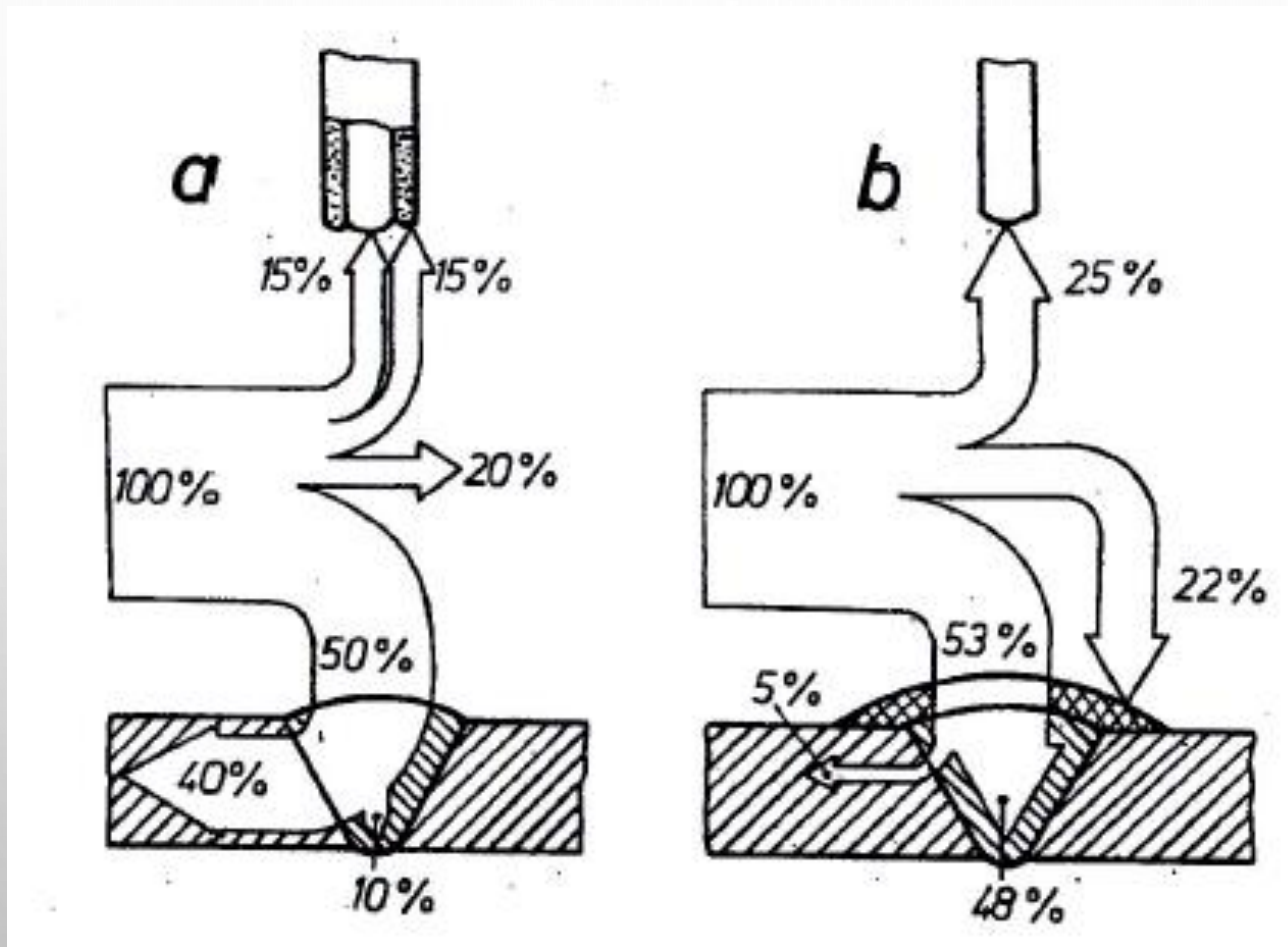
Zavarivanje
u zaštitnom
gasu

Ručno –
elektrolučno i
pod praškom



Slika II.9. Prenos metala u luku u vidu sitnih kapi

- Toplotni bilans zavarivačkog luka:



Ručno – elektrolučno zavarivanje

Zavarivanje pod praškom

Čelici za zavarene konstrukcije

- Zavarljivost je osobina materijala da se postigne zavareni spoj koji odgovara postavljenim zahtevima.
- Zavarljivost čelika se određuje prema ekvivalentnom sadržaju ugljenika (C_{EKV}).
- Što je C_{EKV} veći, zavarljivost je lošija i obrnuto.
- C_{EKV} se određuje prema sledećem izrazu:

$$C_{EKV} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

- Za smanjenje C_{EKV} važno je koristiti čelike sa što manjim sadržajem C i legirajućih elemenata.
- Čelici za zavarene konstrukcije su:
 1. niskouglični (0,1 -0,25%C),
 2. niskolegirani (sadržaj leg.elem.do 5 %), sa niskim sadržajem C (<0,25%),
 3. mikrolegirani čelici (do 0,25% ukupnog sadržaja mikrolegiranih elemenata: Nb, Ti, V,...)*

* smanjenjem sadržaja C se smanjuje čvrstoća (<0,25%) koja se nadomeštava taložnim ojačavanjem ili usitnjavanjem strukture pod uticajem malih količina mikrolegiranih elemenata.