



**FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
KOSOVSKA MITROVICA**

## **OSTALI POSTUPCI ZAVARIVANJA**

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

**Kosovska Mitrovica, mart 2022**

- PLAZMOM
- ELEKTRONSKIM SNOPOM
- LASEROM
- ELEKTRIČNO I ELEKTRO-GASNO POD TROSKOM
- ALUMINOTERMITSKO

**Topljenjem**

- *MAGNETNO ELEKTROLUČNO  
ROTIRAJUĆIM LUKOM*

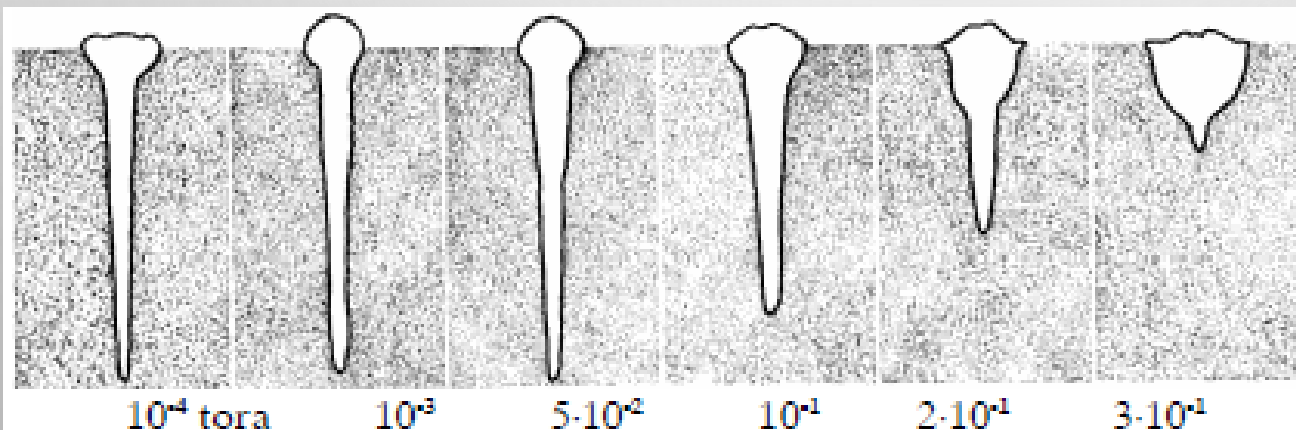
***Postoje varijante sa  
topljenjem i pritiskom (u  
čvrstom stanju)***

- TRENJEM
- INDUKCIONO
- ULTRAZVUKOM
- EKSPLOZIJOM
- DIFUZIJOM
- KOVAČKO
- NA HLADNO

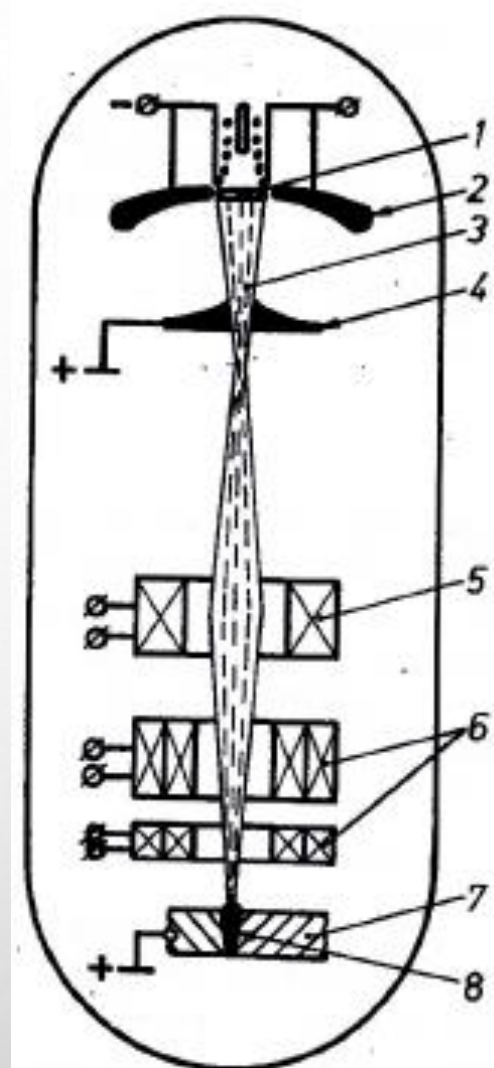
**Pritiskom (bez topljenja,  
zavarivanje u čvrstom stanju)**

# ZAVARIVANJE ELEKTRONSKIM SNOPOM

- UBRZANI ELEKTRONI UDARAJU U POVRŠINU OSNOVNOG MATERIJALA I NJIHOVA KINETIČKA ENERGIJA SE PRETVARA U TOPLOTU ( $5-6000^{\circ}\text{C}$ ).
- IZVOR TOPLOTE JE IZUZETNO FOKUSIRAN



Slika 1.12-7. Uticaj vakuuma na oblik šava

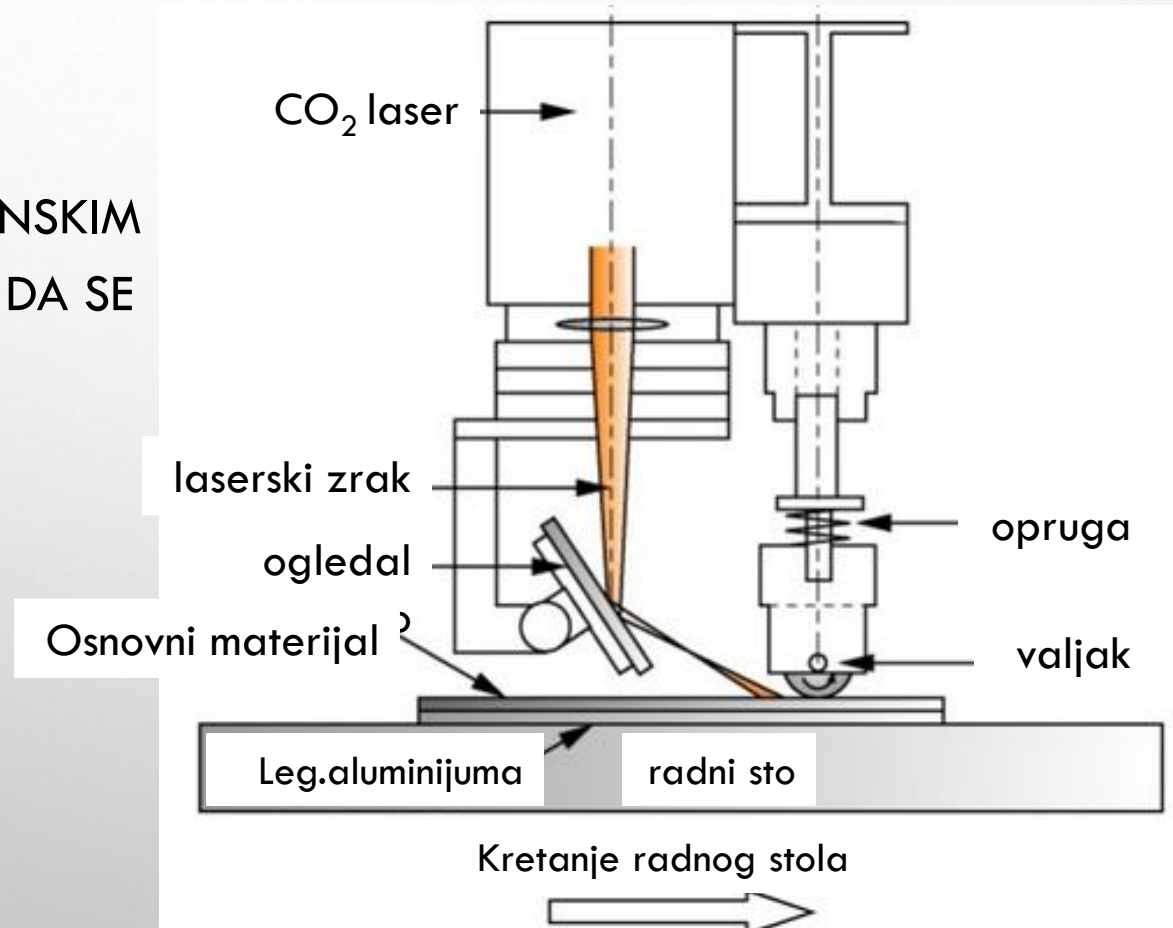


Slika X.5. Šema zavarivanja elektronskim snopom  
 1 - katoda;  
 2 - prikatodna elektroda;  
 3 - elektronski snop;  
 4 - ubrzavajuća anoda;  
 5 - fokusirajuće elektromagnetno sočivo;  
 6 - elektromagnetni sistem za skretanje snopa elektrona;  
 7 - osnovni materijal;  
 8 - šav.

- SPECIFIČNOSTI:
- ZAVARIVANJE PRESEKA DO 50 MM BEZ ZAKOŠENJA IVICA.
- ZUT JE VEOMA UZAN, VRHUNSKI KVALITET ZAVARA
- ZA ZAVARIVANJE TEŠKO TOPLJIVIH METALA (W, NB, V, ZR,...), A MOGU I ČELICI I LAKI METALI.
- POTREBAN VAKUUM  $10^{-4}$  –  $10^{-6}$  MBAR – ZAVARIVANJE U VAKUUMSKIM KOMORAMA ŠTO OGRANIČAVA DIMENZIJE OSNOVNOG MATERIJALA.
- VELIKA BRZINA ZAVARIVANJA.
- VEOMA MALE DEFORMACIJE.
- VEOMA VISOKA CENA
- OGRANIČENJE VELIČINE KOMADA VELIČNOM KOMORE

# ZAVARIVANJE LASEROM

- USMERENA MONOHROMATSKA SVETLOST
- MOŽE SE UPOREDITI SA ZAVARIVANJEM ELEKTRONSKIM SNOPIKOM, ALI NE MORA DA SE ZAVARUJE U VAKUUMU.



- SPECIFIČNOSTI:

- KORISTE SE NAJČEŠĆE RELATIVNO JEFTINI CO<sub>2</sub> LASERI
- DEBLJINE OD 0,2 DO 50 MM ČELIKA
- PREČNIK TAČKE 0,2 DO 13 MM
- ŠIROK DIJAPAZON MATERIJALA: ČELICI, LEG.AL, TI, CU,...
- IAKO RELATIVNO SKUP PROCES, JEFTINIJI I POGODNIJI ZA VELIKE RADNE PREDMETE OD ZAV.ELEKTRONSKIM SNOPOM (NE TREBA VAKUUM).
- VISOK KVALITET
- VISOKA MOGUĆNOST AUTOMATIZACIJE

# PLAZMA ZAVARIVANJE

- PLAZMA GAS ISTIČE VELIKOM BRZINOM KROZ EL.LUK, STVARAJUĆI PLAZMU (VISOKO JONIZOVAN GAS)

- TEMP.EL. LUKA JE 20000 – 30000 °C

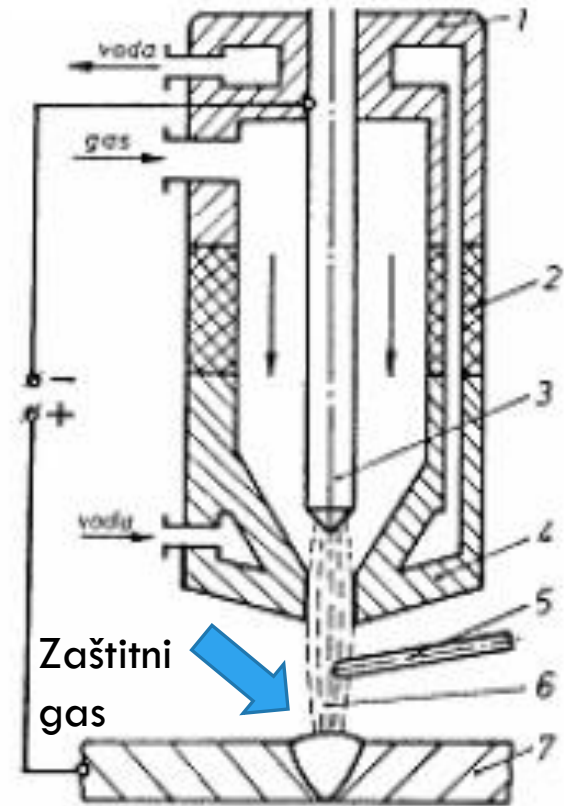
- SRODAN POSTUPAK SA TIG

- KORISTI SE PRAVA POLARNOST

- UVAR 4X VIŠE OD TIG-A, KAO EPP

- PLAZMA GAS: AR, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, MEŠAVINE ILI VAZDUH

- ZAŠTITNI GAS: AR+(5-10%)H<sub>2</sub>



Slika 1.12-1. Plazmatron: 1-držač elektrode  
2-izolator 3-W elektroda 4-Cu mlaznica  
5-dodatni metal 6-plazma 7-osnovni metal

- PREDNOSTI:

- ŠIROK DIJAPAZON UVARA, BEZ OGRANIČENJA U POLOŽAJU
- POGODNIJI POSTUPAK ZA TEŠKO TOPLJIVE MATERIJALE (LEG.TI) OD MIG/TIG
- UZANA ZONA UTICAJA TOPLOTE
- ALTERNATIVA LASERSKOM ZAV.ILI ZAV.ELEKTRONSKIM SNOPOM, PRI ČEMU JE MOGUĆA MANJE PRECIZNA OBRADA OSNOVNOG MATERIJALA
- POGODNOST ZA REZANJE

- NEDOSTACI:

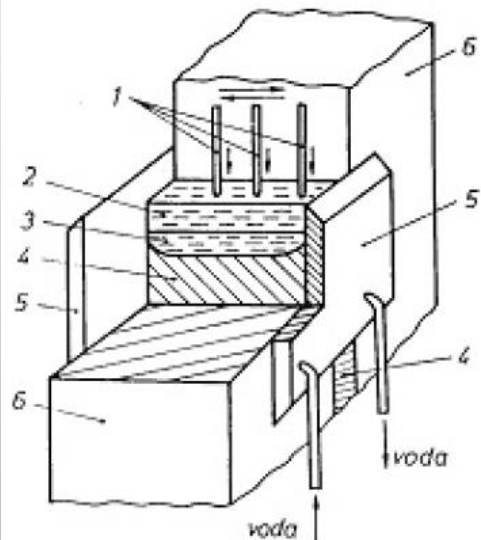
- VISOKA CENA UREĐAJA
- VELIKA POTROŠNJA RELATIVNO SKUPOG GASA (AR)
- POTREBNA PRECIZNIJA OBRADA OSNOVNOG MATERIJALA NEGO KOD TIG



# ELEKTRIČNO I ELEKTROGASNO

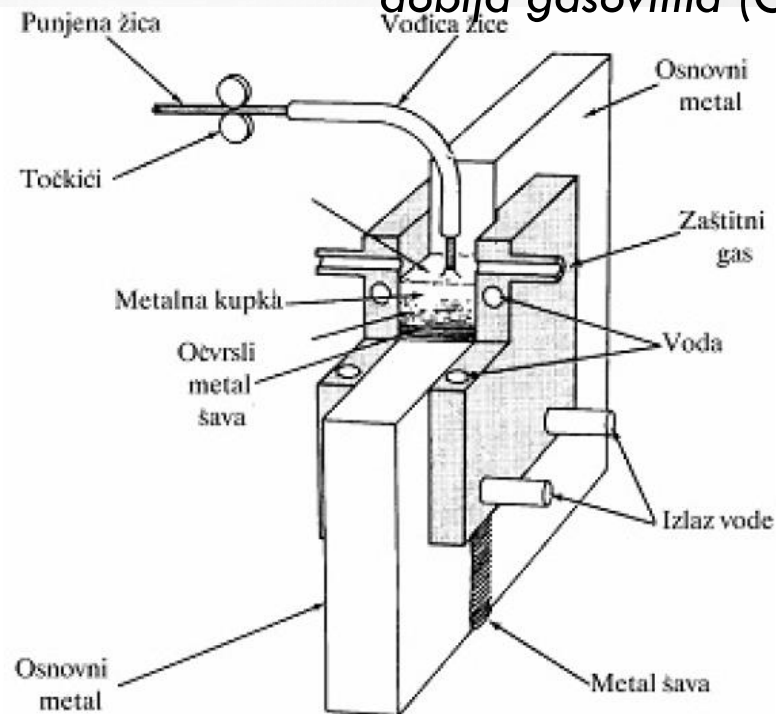
- ZAVARIVANJE VAJAMA I ELEKTRICNIM IZVORIMA ZA VERTIKALAN I HORIZONTALAN POLOŽAJU.

Električno zavarivanje pod troskom: elektrodna žica se dodaje kroz trosku (dobijenu od praha) i popunjava se razmak između elemenata:



Slika 1.12-12. Šema električnog zavarivanja pod troskom

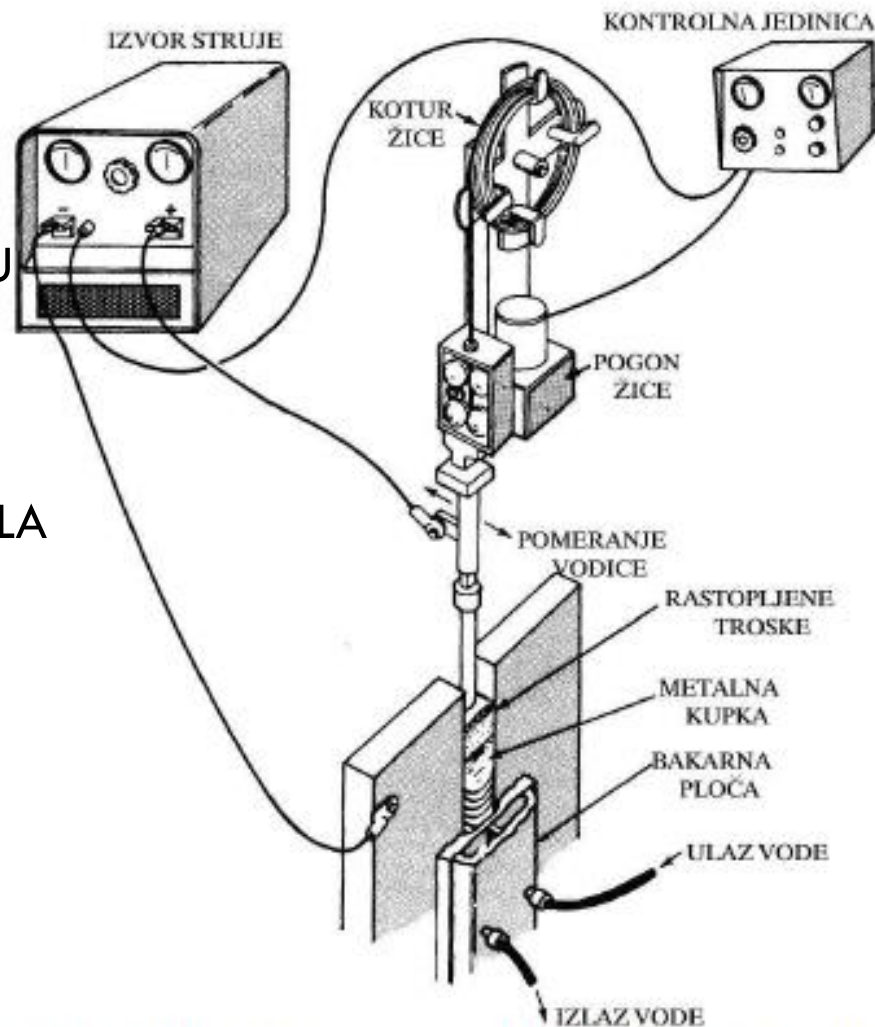
Elektrogasno zavarivanje pod troskom: dodaje se punjena žica (proizvodnost, dodatna zaštita sa troskom), zaštita se dobija gasovima ( $\text{CO}_2$  ili smeša Ar i  $\text{CO}_2$ ):



Slika 1.12-13. Elektrogasno zavarivanje punjenom žicom pod troskom

- SPECIFIČNOSTI:

- POTREBNI SU OGRANIČAVAČI SA DONJE STRANE I BOČNIH TRANA KAKO RASTOP NE BI ISCUREO
- 15-30X MANJI UTROŠAK PRAHA U ODNOSU NA EPP
- TEŠKO OBEZBEDITI VERTIKALNI POLOŽAJ OSNOVNOG MATERIJALA
- OBAVEZNA NORMALIZACIJA NEPOVOLJNE LIVENE STRUKTURE ŠAVA



Slika 1.12-14. Električno zavarivanje pod troskom sa potrošnom vodičom elektrode

# ALUMINOTERMITSKO ZAVARIVANJE

- IZVOR TOPLOTE JE EGZOTERMNA REAKCIJA PRAHA AL I FERO-FERI OKSIDA ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) PO FORMULI (INICIJACIJA ZAGREVANJEM NA  $1150^\circ\text{C}$ ):



- DVE VRSTE OVOG POSTUPKA:

UZ PRITISAK (PRVO SE SIPA

TROSKA, A POSLE TEČNI

METAL, BEZ RAZMAKA, POSLE

PRITISAK NA OSN.MAT.

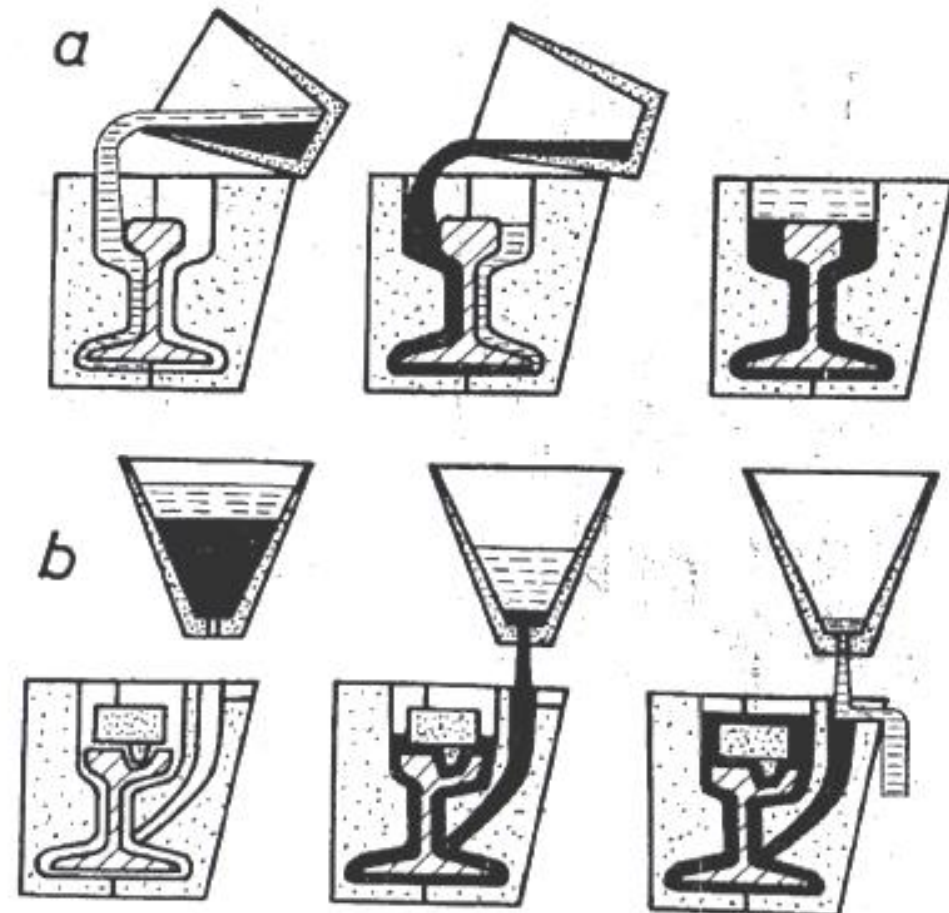
UZ TOPLJENJE (PRVO SE KROZ

DNO SIPA TEČNI METAL, A

POTOM TROSKA), OSN.MAT SA

10-12 MM RAZMAKA,

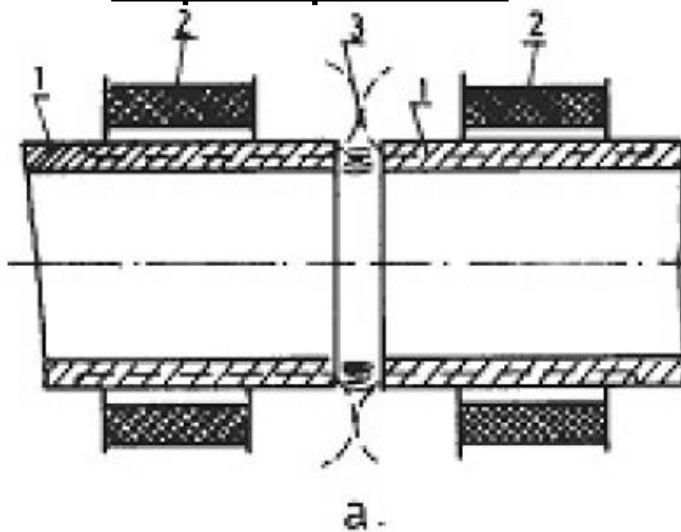
**\*ZA ŠINE.**



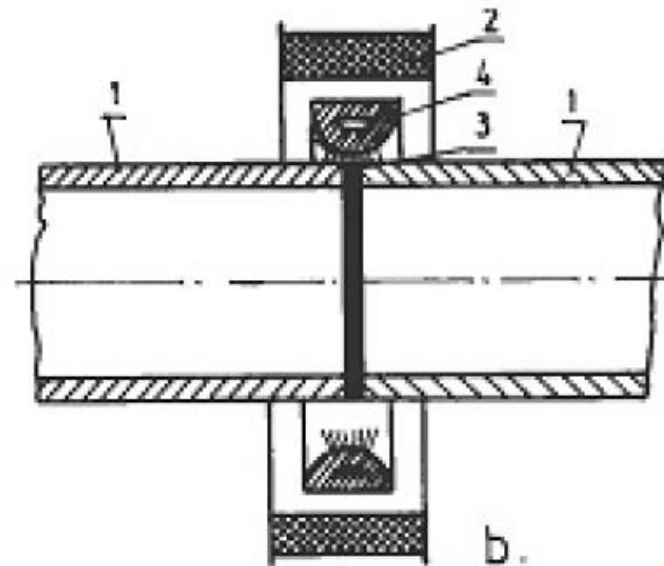
# MAGNETNO EL.LUČNO ZAVARIVANJE ROTIRAJUĆIM LUKOM

- LUK SE USPOSTAVLJA IZMEĐU DELOVA KOJI SE ZAVARUJU, A ROTIRA POD DEJSTVOM MAGNETNOG POLJA U NAMOTAJIMA (2).

Bez topljenja –  
dejstvo pritiska:



Sa topljenjem :



Slika 1.12-17. Magnetno elektrolučno zavarivanje rotirajućim lukom a) bez topljenja b) topljenjem

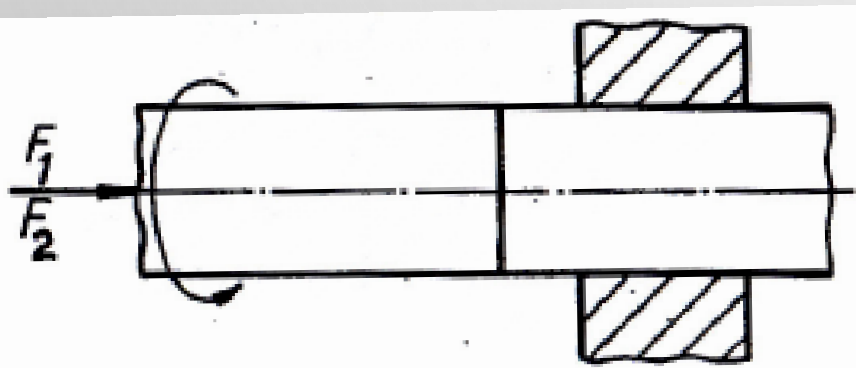
- Zaštita:  $\text{Ar} + \text{CO}_2$

# ZAVARIVANJE TRENJEM

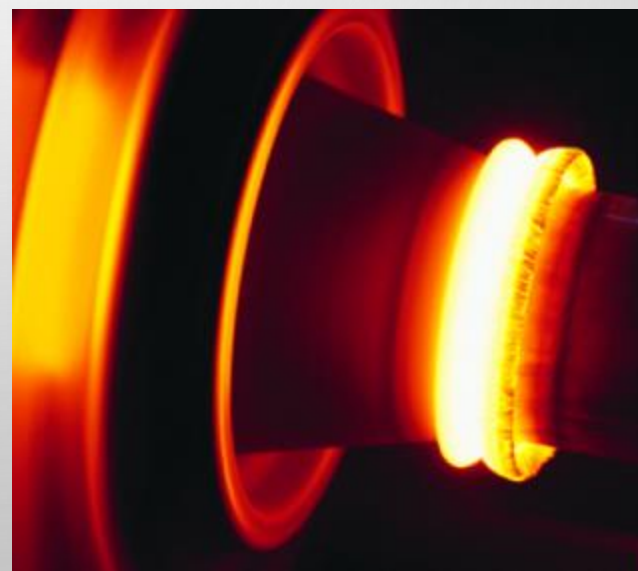
- TRENJE SE KORISTI I ZA OBEZBEĐENJE PRITISKA I POVIŠENE TEMPERATURE.
- DOVOLJNA JE TEMPERATURA OD OKO  $0,8T_{\text{TOPLJENJA}}$ , KADA JE MATERIJAL RAZMEKŠAN.
- POSTOJE DVA POSTUPKA:
  1. KONVENCIONALNO ZAVARIVANJE TRENJEM
  2. ZAVARIVANJE TRENJEM SA MEŠANJEM

# KONVENCIONALNO ZAVARIVANJE TRENJEM

- KORISTI SE MEĐUSOBNO ROTACIONO KRETANJE OSNOVNOG MATERIJALA (500-1500 O/MIN) UZ AKSIJALNI PRITISAK.
- POSTOJE DVE AKSIJALNE SILE:  $F_1$  KOJA UZ ROTACIJU IZAZIVA ZAGREVANJE I  $F_2$  KOJA VRŠI DODATNI PRITISAK I ZAVARIVANJE.



Slika X.10. Šema zavarivanja trenjem

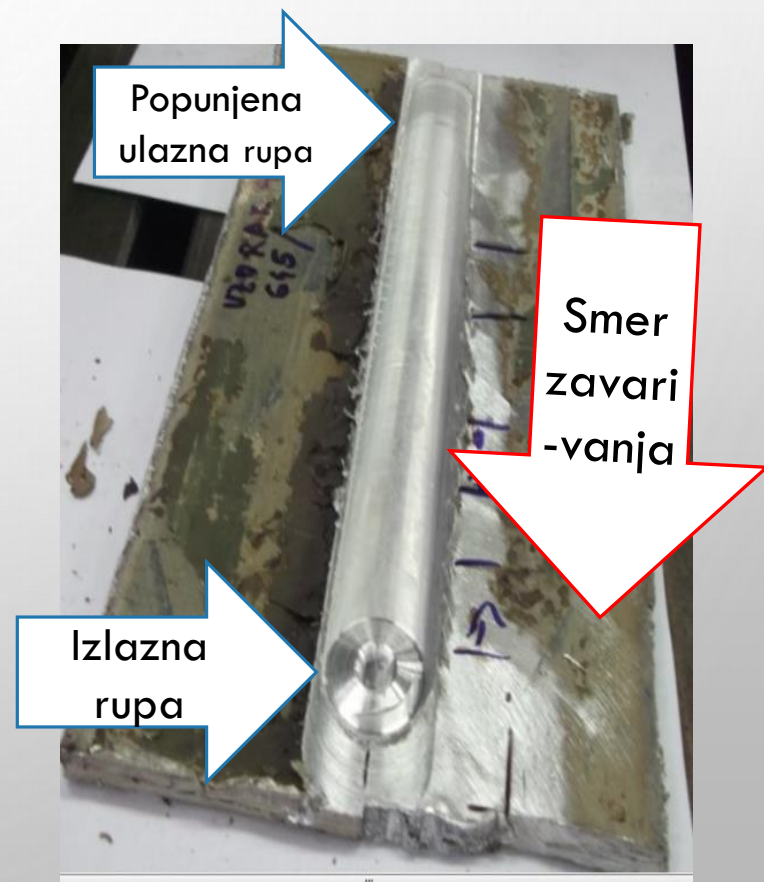
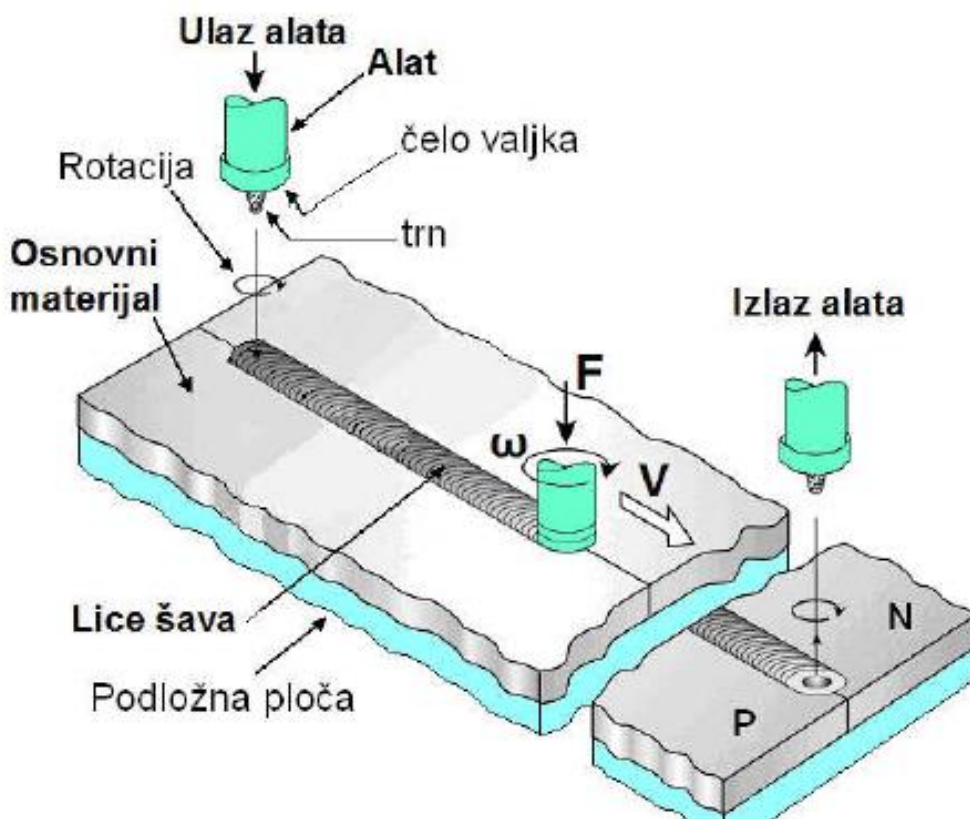


- PRIMENA I SPECIFIČNOSTI:

- MOGUĆNOST ZAVARIVANJA RAZLIČITIH VRSTA ČELIKA, LEG.CU, AL, KAO I OSTVARIVANJE RAZNORODNIH SPOJEVA: LEG.AL SA CU, BRZOREZNI ČELIK SA UGLJENIČNIM ČELIKOM,... (NPR. VENTILI)
- VISOKA PRODUKTIVNOST
- OGRANIČENJE U OBLIKU RADNOG PREDMETA: JEDNOSTAVNI PRESECI, JEDAN MORA BITI OSNO SIMETRIČAN, NE PREDUGI ZBOG UVIJANJA I IZVIJANJA

# ZAVARIVANJE TRENJEM SA MEŠANJEM

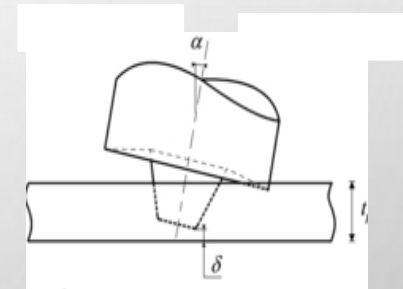
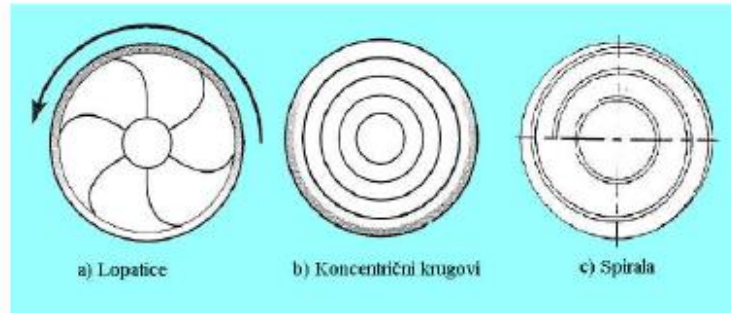
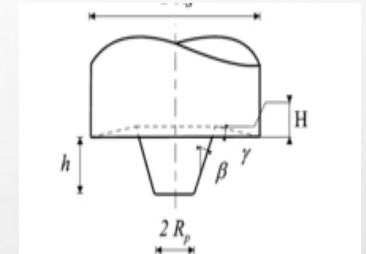
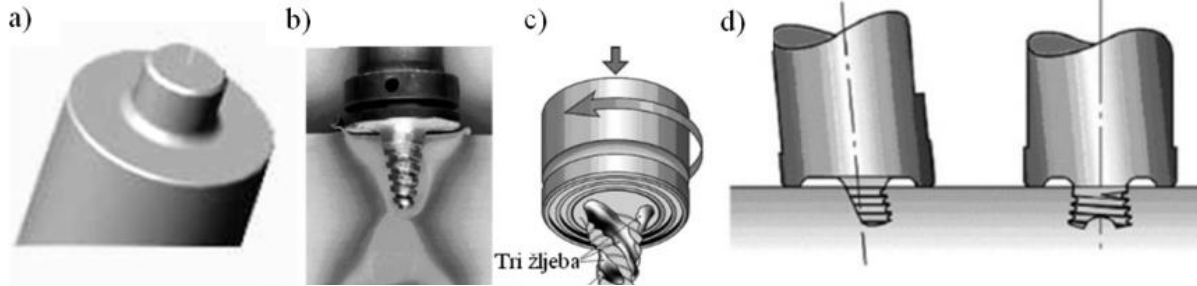
- ZTM JE POSTUPAK ZAVARIVANJA BEZ TOPLJENJA, GDE SE POSEBNIM ALATOM MATERIJAL ZAGREVA (RAZMEKŠAVA) I MEŠANJE OM.





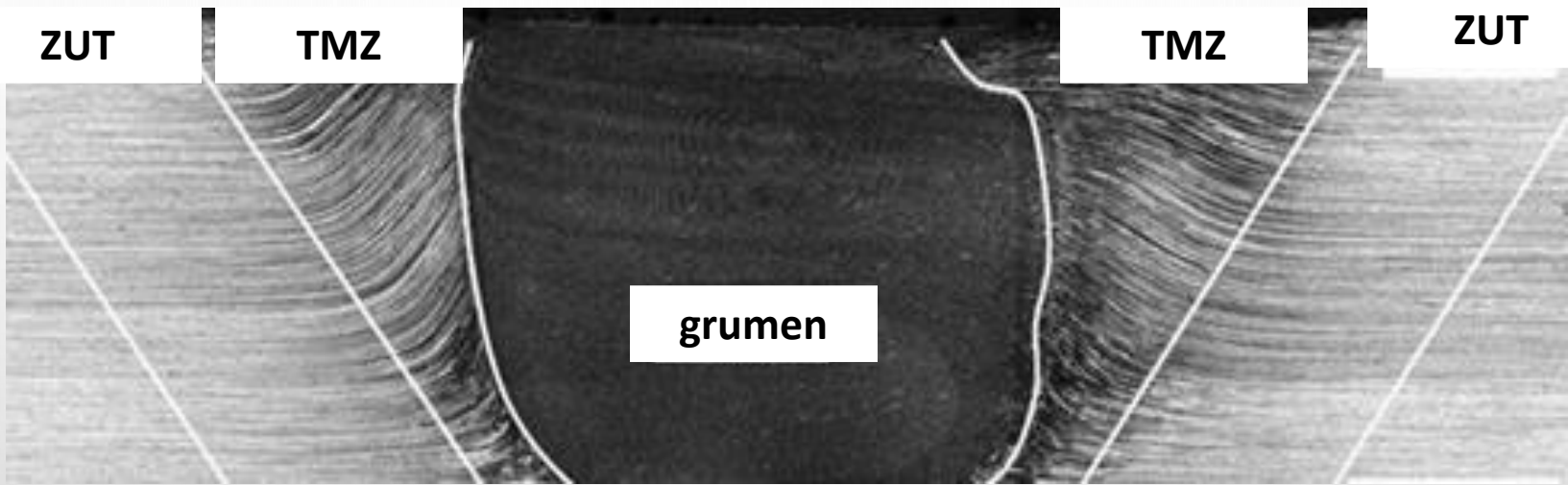
- UTICAJNI PARAMETRI:

1. GEOMETRIJA ALATA (TRNA, RAMENA, NAGIB)



3. BRZINA ZAVARIVANJA

# • MIKROSTRUKTURA ZAVARENOG



- PREDNOSTI:

- MOGUĆNOST ZAVARIVANJA DRUGIM POSTUPCIMA TEŠKO ZAVARLJIVIH MATERIJALA KAO ŠTO SU LEGURE AL-CU (DURALUMINIJUM) I AL-ZN-MG, ODNOSNO RAZNORODNIH MATERIJALA (LEG. AL SA MG, LEG. AL SA CU...)
- RELATIVNO MALI UNOS TOPLOTE-MALE ILI BEZ DEFORMACIJA
- UŠTEDA ENERGIJE
- NEPOTREBNA ATMOSFERA I DODATNI MATERIJAL
- MOGUĆNOST POSTIZANJA VEĆE ČVRSTOĆE ŠAVA U ODNOSU NA OSNOVNI MATERIJAL
- MOGUĆNOST IZRADE TUNELA (KANALA) ILI POVRŠINSKE OBRADJE

- NEDOSTACI:

- IZLAZNA RUPA

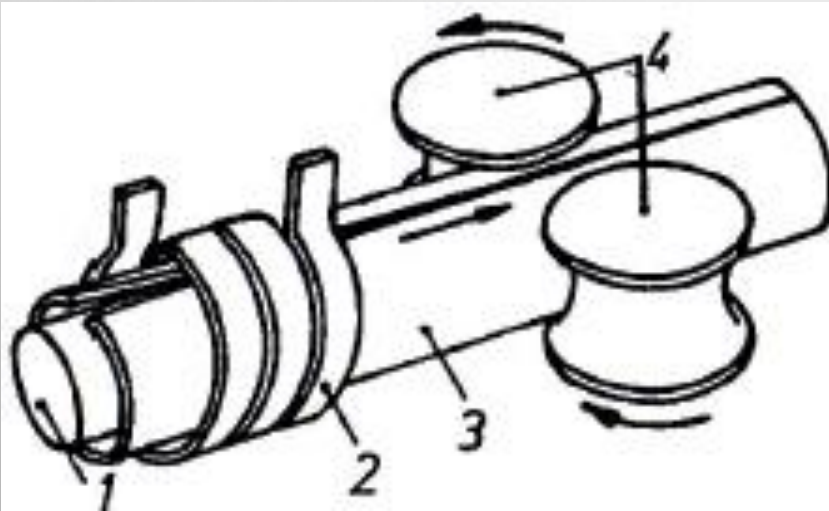
- POTREBA ZA PRECIZNOM OBRADOM IVICA SPOJA

- OTEŽANO ČIŠĆENJE ALATA OD NALEPA

- MANJE FLEKSIBILAN POSTUPAK OD POSTUPAKA SA EL.LUKOM (TEŽE PRENOSAN UREĐAJ, OTEŽANO POZICIONIRANJE,...)

# ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM INDUKCIJOM

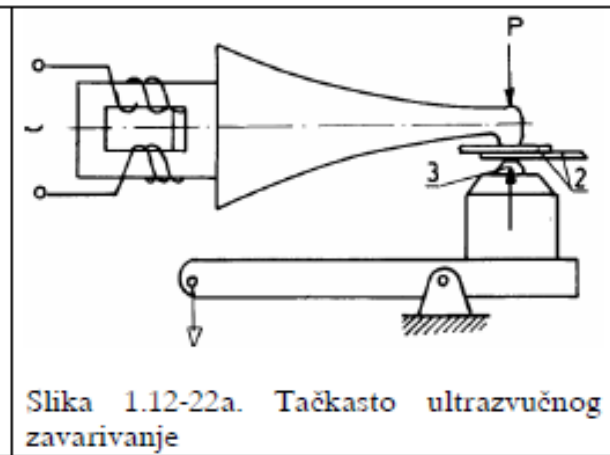
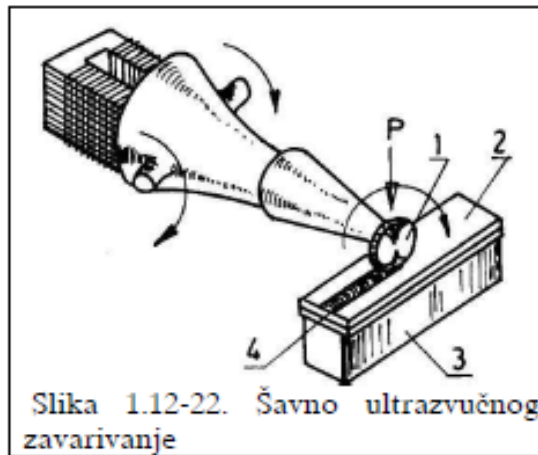
- KROZ INDUKTOR PROTIČE STRUJA VISOKE FREKVENCije, A U OSNOVNOM MATERIJALU SE INDUKUJE STRUJA KOJA UTIČE NA ZAGREVANJE.
- ZAGREVANJE SE KOMBINUJE DEJSTVOM PRITISKA, NAJČEŠĆE POSREDSTVOM VALJAKA.
- PRIMENA – NAJEŠĆE ZA ŠAVNE CEVI.
- VRLO VELIKA PROIZVODNOST.



Slika X.9. Šema zavarivanja cevi električnom indukcijom  
1 - jeagro;  
2 - induktor;  
3 - cev;  
4 - valjci sa pritiskivanjem.

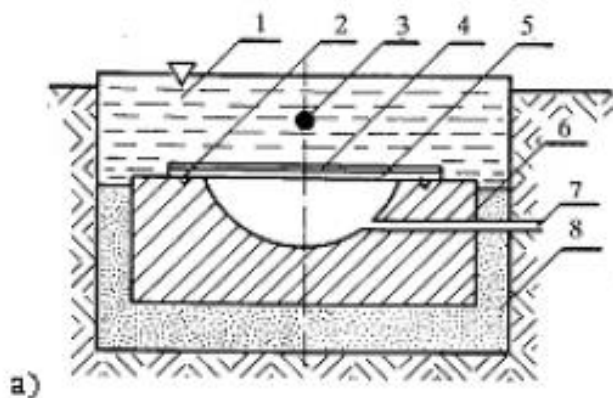
# ZAVARIVANJE ULTRAZVUKOM

- GENERISANJE TOPLOTE PRIMENOM MEHANIČKIH VIBRACIJA ULTRAZVUČNE FREKVENCIJE (15-70KHZ) I MALE AMPLITUDE.
- TANJI LIMOVI I POLIMERI
- ŠAVNO I TAČKASTO:
- KORISTE SE I  
NAMENSKI ALATI KOJI  
ODGOVARAJU  
KONFIGURACIJI  
OSN.MAT.

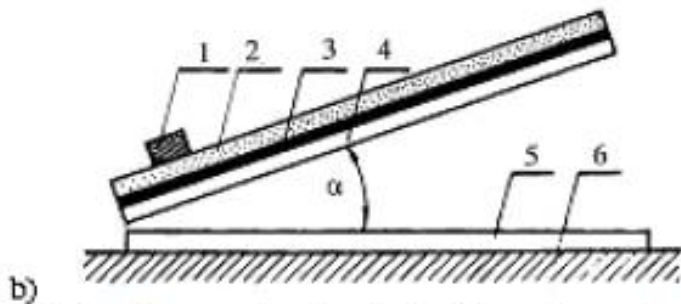


# ZAVARIVANJE EKSPLOZIJOM

- HEMIJSKA ENERGIJA DETONACIJE EKSPLOZIVA KORISTI SE ZA SPAJANJE KOMPONENTI.
- POSREDNO I DIREKTNO:



- 1 - voda
- 2 - hermetički prsten
- 3 - eksploziv
- 4 - zaštitni lim
- 5 - ploča (OM)
- 6 - kalup (OM)
- 7 - otvor za vazduh
- 8 - porozna masa



- 1 - detonator
- 2 - eksploziv
- 3 - zaštitni lim
- 4 - ploča (OM)
- 5 - ploča (OM)
- 6 - postolja

Slika 1.12-24. Šematski prikaz zavarivanja eksplozijom a) posredno b) direktno, pod uglom

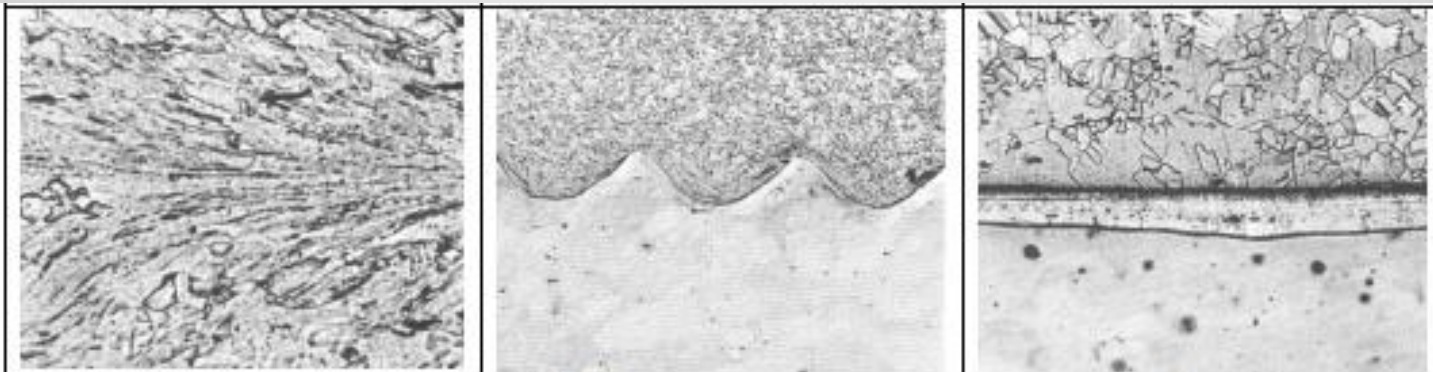
- SPECIFIČNOSTI:

- IDEALAN POSTUPAK ZA SPAJANJE RAZNORODNIH MATERIJALA.
- AKO SU KOMPONENTE METALURŠKI EKSTREMNO NEKOMPATIBILNE, KORISTI SE MEĐUSLOJ: ČELIK I LEGURA AL SA MEĐUSLOJEM CU.
- OBIČNO SE KORISTI ZA OBLAGANJE ČELIKA KOROZIONO-OTPORNIM MATERIJALOM (NERĐAJUĆI ČELIK, LEG.TI, NI...).
- PROBLEM – POSEBNI USLOVI I LJUDSTVO ZA IZVOĐENJE
- SAMO ZA JEDNOSTAVNE GEOMETRIJE: PLOČE I CEVI

Najmanja brzina, vazduh ima vremena da napusti međuprostor, dobar kvalitet, rizik da ne dođe do spajanja

*Stvaraju se talasi zbog privremenog zadržavanja vazduha , najbolje!*

Najveća brzina, stvara se međusloj materijala koji se spajaju (kod materijala koji se neograničeno rastvaraju je adekvatno: Cu i Ni)



a) direktna

b) talasasta

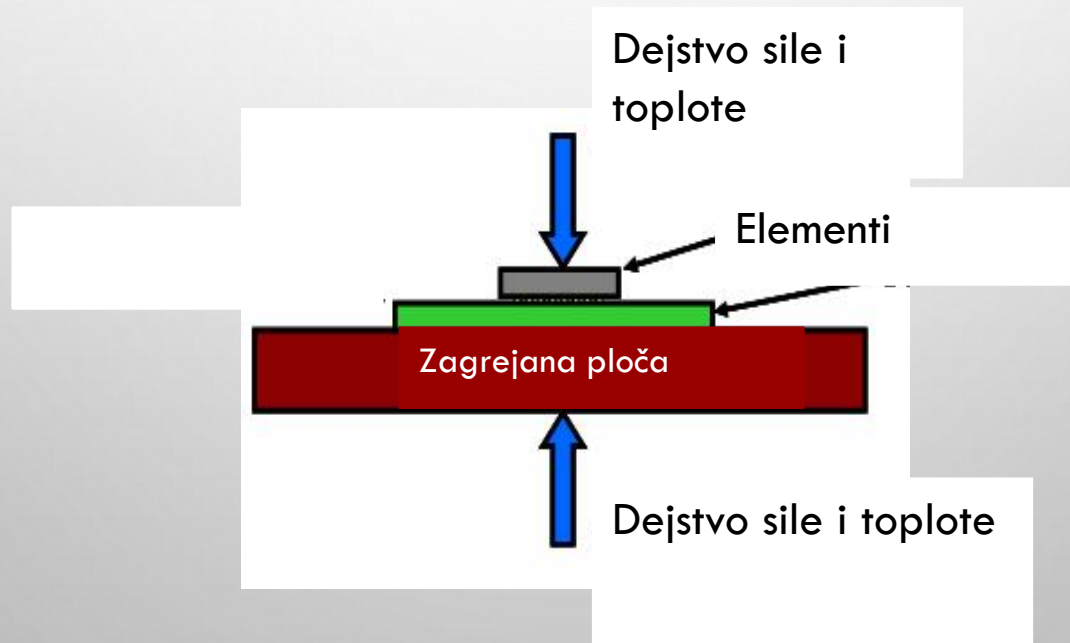
c) sa međuslojem

Slika 1.12-25. Metalurške veze kod eksplozivnog zavarivanja



# ZAVARIVANJE DIFUZIJOM

- ZAVARIVANJE DIFUZIJOM VRŠI SE NA PRESAMA, OPREMLJENIM POSEBNIM ALATIMA, GDE SE ELEMENTI ZAVARUJU UZ UMERENO ZAGREVANJE NA 0,5-0,7  $T_{\text{TOPLJ}}$  (ČELICI 800-1100°C)

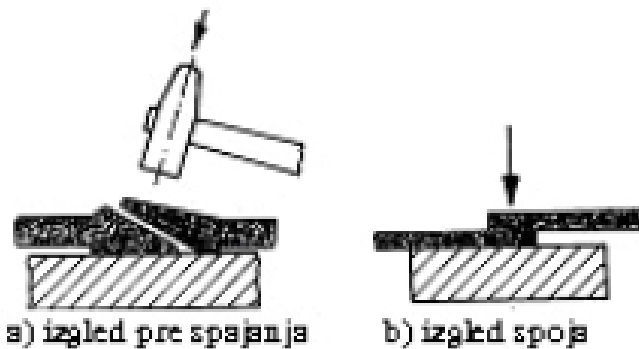


- SPECIFIČNOSTI:

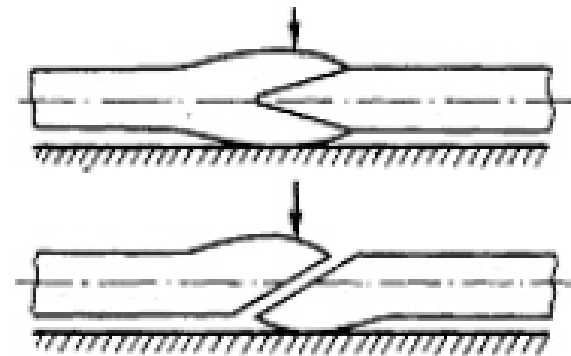
- NAMENSKI ALAT ZA SVAKI PROIZVOD
- U VAKUUMU
- NE SME VISOK PRITISAK - DA NE DOĐE DO DEFORMACIJA (5-20 MPA)
- POTREBAN VISOK KVALITET OBRADNE POVRŠINE
- PRIMENA U AVIO-INDUSTRIJI I ELEKTRONICI
- KORISTI SE ZA ZAVARIVANJE SVIH MATERIJALA, ALI ISPLATIVO ZA LIMOVE OD SKUPIH MATERIJALA KAO ŠTO SU LEGURE TI, NI, BE, ZR I ZAVARIVANJE RAZNORODNIH MATERIJALA

# KOVAČKO ZAVARIVANJE

- NAJSTARIJI POSTUPAK ZAVARIVANJA PRITISKOM I ZAVARIVANJA UOPŠTE
- ZAGREVANJE NA  $1100-1300^{\circ}\text{C}$  (U PEĆI ILI GORIONIKOM) A ZATIM KOVANJE (RUČNO ILI MAŠINSKI)
- DOBRA MOGUĆNOST ZAVARIVANJA ČELIKA DO  $0,7\% \text{ C}$  I NISKOUGLJENIČNIH ČELIKA
- NEDOSTATAK – MALA PRODUKTIVNOST
- POTREBNO POSTIĆI ŠTO VEĆU POVRŠINU ŠAVA:



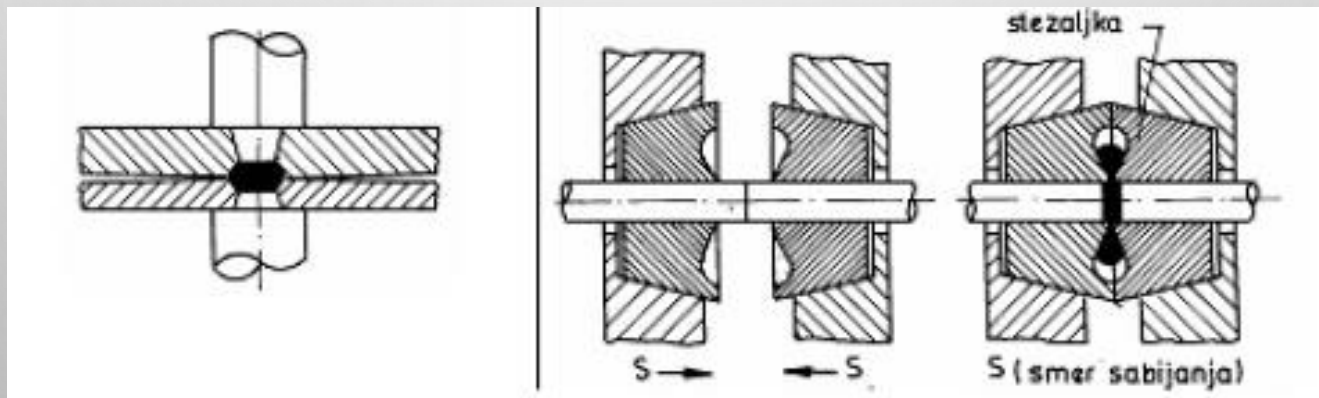
Slika 1.12-30. Kovačko zavarivanje



Slika 1.12-31. Priprema delova

# HLADNO ZAVARIVANJE

- HLADNO ZAVARIVANJE SE ODVIJA NA SOBNOJ TEMPERATURI, UZ VRLO VISOK PRITISAK (300-600 MPa) I VISOK KVALITET KONTAKTNIH POVRŠINA.
- UPOTREBLJIVO ZA DEFORMABILNE MATERIJALE SA NISKIM NAPONOM TEČENJA: AL, CU, NI, NERĐAJUĆI ČELIK (AUSTENITNI)



Slika 1.12-31. Tačkasti spoj

Slika 1.12-32. Sučeoni spoj

**HVALA NA PAŽNJI!**