

# **ZAVARIVANJE PLASTIKE**



# UVOD

- Zavarivanje, kao metoda spajanja može se primeniti kod znatnog broja plastičnih materijala kako istorodnih tako i raznorodnih.
- U *tabeli* navedeni su neki od polimernih materijala koje je moguće spajati zavarivanjem kao i ocene njihove međusobne zavarljivosti.

	PMMA	PVC	PS	ABS	PEHD	PP
PMMA	++	++	++	++	oo	oo
PVE	++	++	oo	+	oo	oo
PS	++	oo	++	++	o	oo
ABS	++	+	++	++	oo	oo
PEHD	oo	oo	o	oo	++	+
PP	oo	oo	oo	oo	+	++

- Pored zavarivanja raznorodnih polimera moguće je zavarivati i raznorodne grupe materijala, na primer polimer-metal, ili polimer-drvo.

# UVOD

Vrsta zavarivanja	Izvor toplote	Primena
Zavarivanje toplim elementima	Uglavnom grejni elementi	Ploče, cevi, profili, delovi dobijeni brizganjem Folije...
Ultrazvučno zavarivanje	Spoljašnje i unutrašnje trenje	Karoserijske ploče, kanali za provetravanje...
Zavarivanje trenjem	Spoljašnje trenje	Sferni delovi, cevi, rotaciono simetrični delovi, ploče...
Visokofrekventno zavarivanje	Visokofrekventno naizmenično magnetno polje	Folije, u specijalnim slučajevima ploče...
Elektromagnetno zavarivanje	Induktivno ugrejan čelični prsten ili feromagnet	Uglavnom brizgani (liveni) delovi
Zavarivanje svetlosnim zracima	Svetlosni ili infracrveni zraci	Folije
Elektrotopno zavarivanje	Elektrotopni element (žica)	Spajanje kablova i cevi
Gasno zavarivanje	Gasni plamen	Cevovodi, podovi
Ekstruzionno zavarivanje	Plastifikator	Kućišta (debelozidni delovi)

Podela postupaka zavarivanja.

# OSNOVE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA

- Cilj svakog postupka zavarivanja jeste da obezbedi čvrstu nerazdvojivu vezu između zavarivanih materijala. Pri tome kvalitet zavarenog spoja zavisi od tehnologije zavarivanja, a pre svega raspodele i prostiranja toplote u materijalu.
- Raspodela temperature može se prikazati jednodimenzionom Furijeovom diferencijalnom jednačinom (iz razloga što je jedna dimenzija – debljina zida, mnogo manja od ostale dve – širine i visine):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial T^2}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{\rho \cdot c_p}$$

*T = temperatura*

*t = vreme*

*x = rastojanje*

*a = temperaturna provodljivost*

*ρ = gustina*

*q̇ = toplotna struja*

# OSNOVE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA

- **Dakle, za apsolutni kvalitet zavarenog spoja potrebno je obezbediti odgovarajuće parametre a to su:**
  - Temperatura
  - Vreme
  - Položaj (rastojanje)
  - Brzina (snaga ili pritisak)

# **ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM**

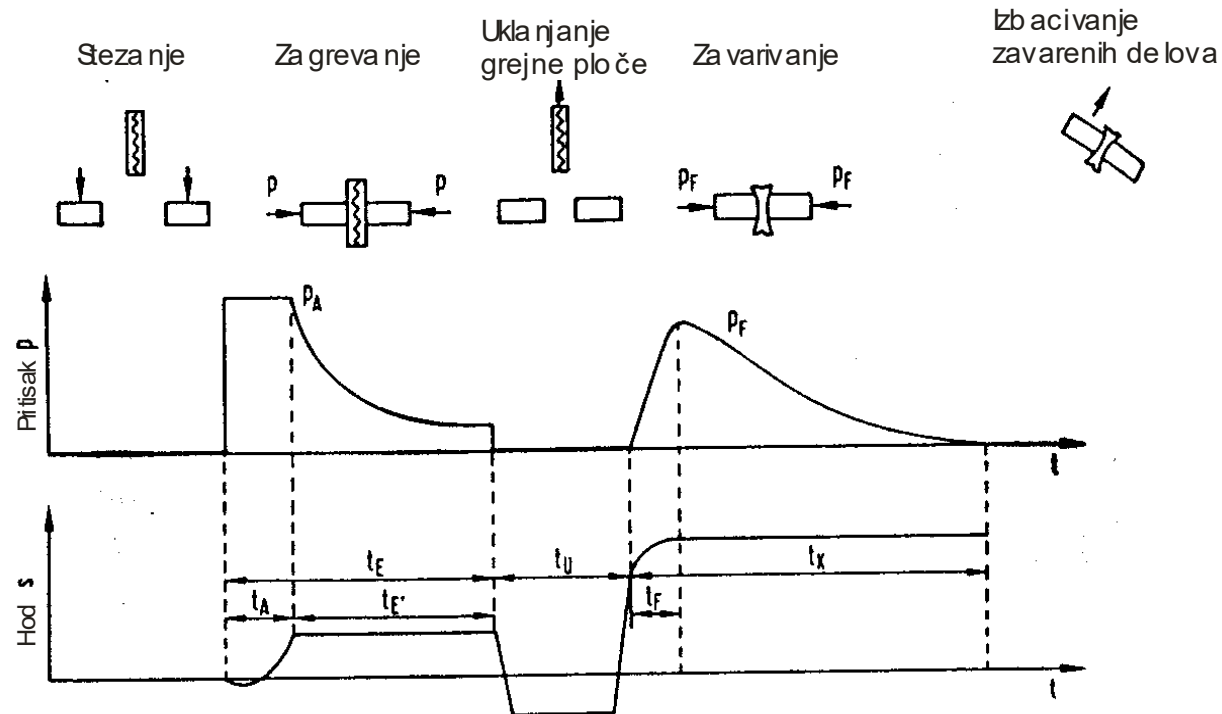
**Ovo zavarivanje može biti direktno ili indirektno, a prema DIN 1910 spada u zavarivanja sa grejnim elementom.**

- **Zavarivanje sa direktnim unosom toplote**
- **Zavarivanje sa indirektnim unosom toplote**

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje

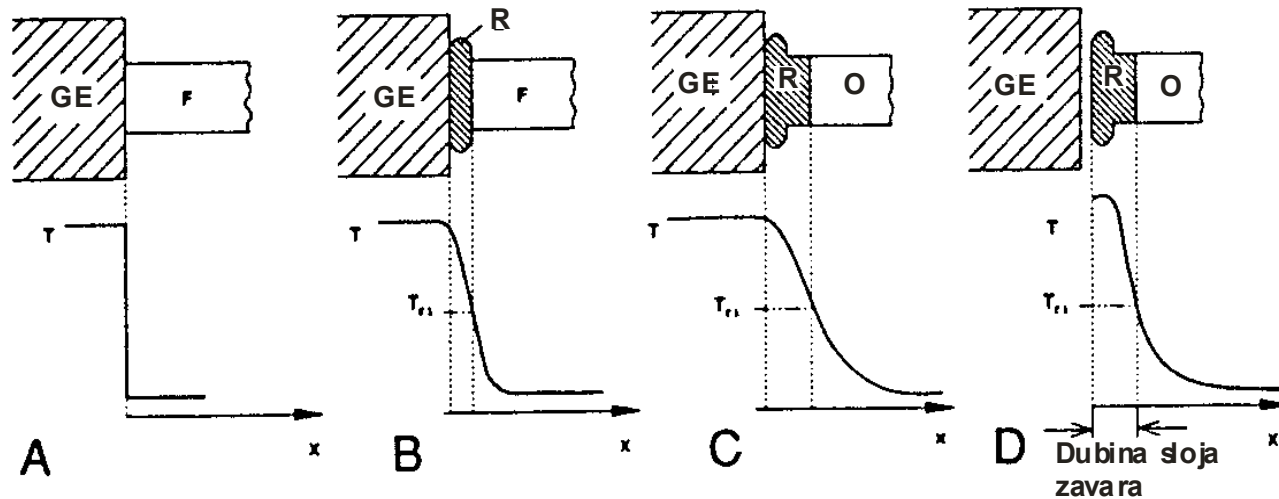


Tok procesa zavarivanja sa pritiskom i pomakom u funkciji vremena

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje



#### Zavisnost dubine topljenja od vremena zagrevanja

A-početak hoda B-kraj hoda, početak zagrevanja bez pomeranja C-kraj zagrevanja bez pomeranja D-odvajanje od grejne ploče GE-grejni element O-obradak R-rastop x-horizontalna koordinata T-temperatura



# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

Čeono zavarivanje

Za ovaj postupak postoje tri tipa mašina:



1. mašine za terensku upotrebu



2. standardne mašine

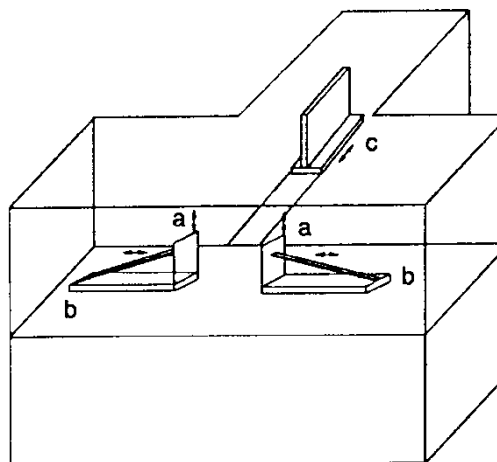


3. specijalne mašine

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje



*Šematski prikaz standardne horizontalne mašine za čeono zavarivanje  
a-stezni elementi b-jedinica za pomeranje c-grejni element*

# **ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM**

## **ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE**

### **Čeono zavarivanje**

- **Ove mašine uglavnom imaju sledeće komponente:**
  - kućište,
  - grejne elemente,
  - stezne elemente i elemente za vođenje,
  - pribor za pripremu obradaka,
  - sistem za upravljanje (pritisak, pomak, vreme).

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje

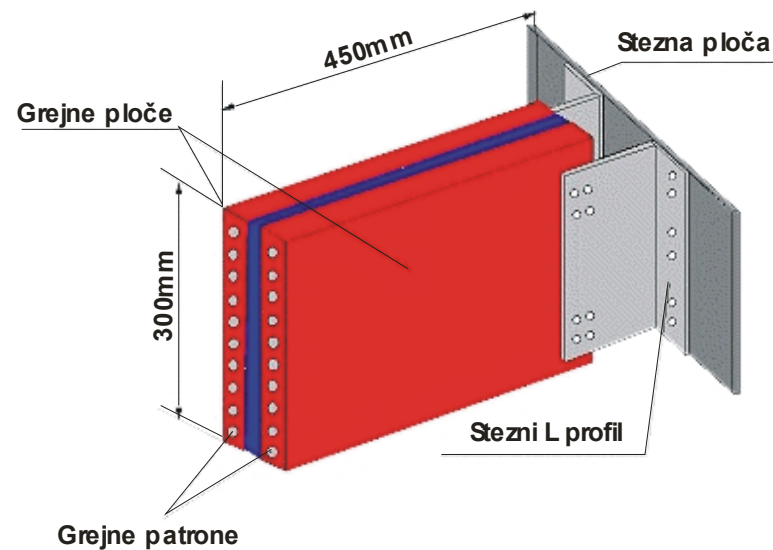
- **Kućište** je uglavnom zavareni ram koji mora biti tako konstruisan da obezbeđuje krutost mašine odnosno spreči bilo kakve deformacije za vreme procesa zavarivanja.
- U kućiše su postavljeni elementi (presa) koji obezbeđuju potrebna kretanja i pritisak.
- Između ploča prese nalaze se grejne ploče koje moraju biti pokretne da bi mogle da se sklone prilikom presovanja (spajanja materijala koji se zavaruju).

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje

- **Grejna ploča** mora biti prilagođena materijalu koji otapa (zavaruje).



Šematski prikaz grejne ploče za zavarivanje raznorodnih polimernih materijala

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje

- Grejna ploča zagreva se električnim grejačima sa digitalnim regulatorom temperature koji obezbeđuje kontinualnu regulaciju temperature od 180<sup>0</sup>C do 300<sup>0</sup>C kod kontaktnog zagrevanja i do 550<sup>0</sup>C kod visokotemperaturnog zavarivanja.
- Dozvoljena oscilacija temperature je 5<sup>0</sup>C.
- Grejne površine moraju imati slaba adhezivna svojstva pa se u tu svrhu prevlače teflonom ili se na njih jednostavno postavi folija od teflona.
- Same ploče prave se od materijala dobre toplotne provodljivosti i antikorozivnih osobina (legure aluminijuma).

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje

- **Elementi za stezanje** i vođenje imaju zadatak da radne komade fiksiraju u radnom prostoru. Zadatak im je da dovedu obradke u radni prostor, odnosno položaj za zavarivanje, a da pri tome ne dođe do neželjenih pomerenja. To je posebno važno za vreme dejstva sile zavarivanja.
- **Uređaji za pripremu** služe za obradu površina koje se zavaruju i uglavnom su to razne vrste testera.

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje

- **Upravljačka jedinica** je hidraulični, pneumatski ili elektromehanički sistem koji obezbeđuje kontrolu pritiska i vremena zavarivanja. Postoji više nivoa automatizacije ovih mašina ali potreban minimum upravljanja jeste kontrola pritiska i hoda u funkciji vremena.



# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA DIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Čeono zavarivanje



Mašina za čeono zavarivanje cevi



Specijalna mašina za serijsko zavarivanje obradaka velikih dimenzija

# **ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM**

## **ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE**

- To je postupak koji je jako primenjen kod zavarivanja folija.
- U proizvodnji folija važi pravilo da njena cena proizvodnje nije mnogo manja od cene gotovog proizvoda, tako da se dobitak može ostvariti samo uz izuzetno racionalnu tehnologiju.

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

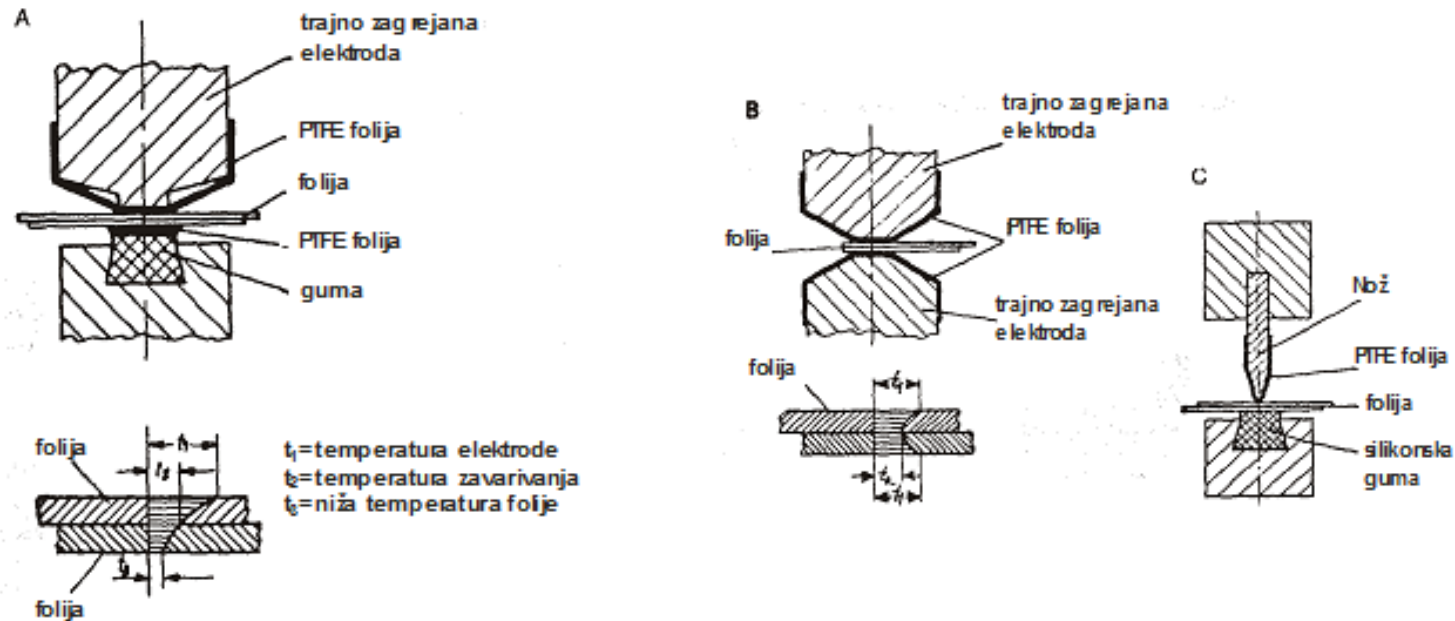
### Toplotno kontaktno zavarivanje

- Folija se kod zavarivanja dovede između alata i tu se pomoću zagrejanog i sa PTFE (**Poli(tetrafluoroetylen)**) prevučenog žiga zagreva. Kod ove tehnologije postoje tri postupka:
  1. jednostrano zavarivanje
  2. dvostrano zavarivanje
  3. zavarivanje sa odvajanjem

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Toplotno kontaktno zavarivanje

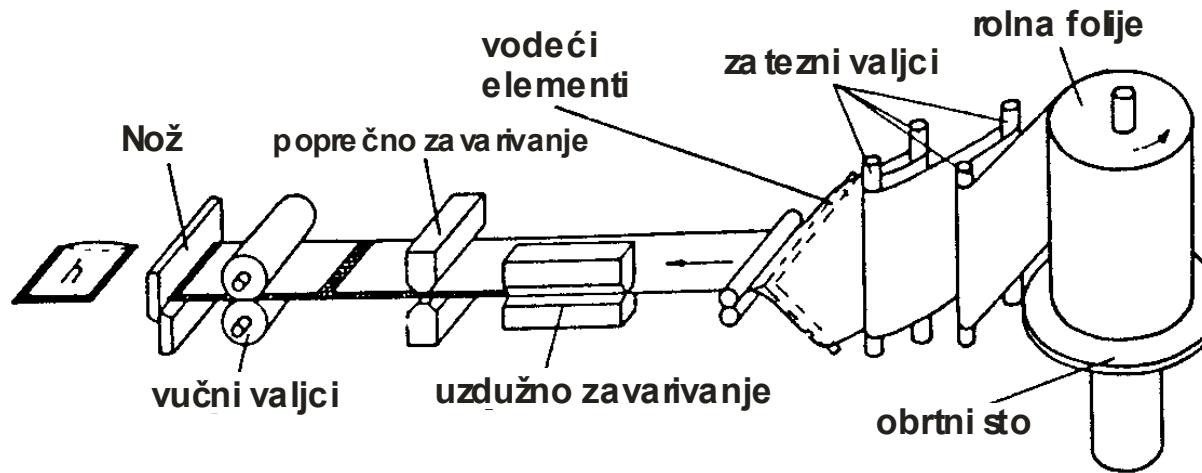


*Šematski prikaz postupka*  
*A: jednostrano zavarivanje*  
*B: dvostrano zavarivanje*  
*C: zavarivanje sa odsecanjem*

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Toplotno kontaktno zavarivanje



Mašina za proizvodnju kesa iz folija

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

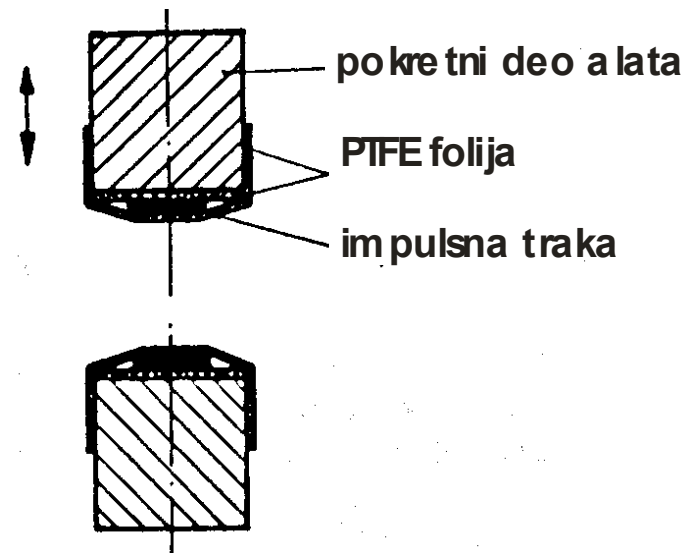
### Toplotno impulsno zavarivanje

- To je proces veoma sličan prethodnom sa sledećim razlikama:
  - Folija se pod pritiskom hladi skoro do sobne temperature,
  - **Žig prevučen PTFEom (Poli(tetrafluoroetylen) mora se za svaki ciklus zavarivanja ponovo zagrevati,**
  - Temperatura granične površine (kontaktna temperatura između alata i folije) je funkcija vremena.
- Zahvaljujući hlađenju pod pritiskom dobija se bolji kvalitet zavara ali zbog toga što se **alat u svakom ciklusu ponovo greje proces duže traje.**
- Taj problem se delimično rešava obostranim impulsnim zavarivanjem.

# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

### Toplotno impulsno zavarivanje



Šema dvostranog impulsnog zavarivanja  
sa impulsnim trakama

# **ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM**

## **ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE**

### **Ostali postupci**

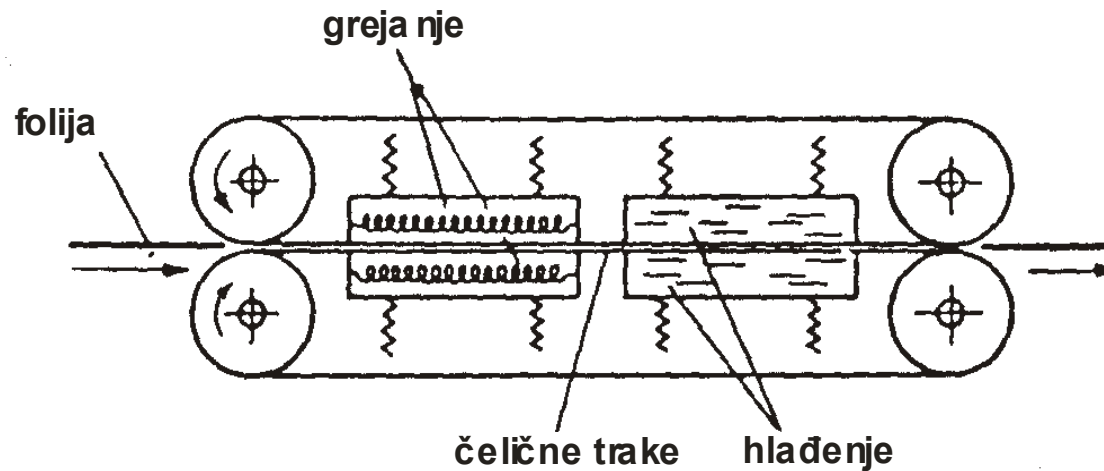
- **U slučaju kada zavarujemo materijal kod koga folija od PTFE Poli(tetrafluoroetylen) neme dovoljnu temperaturnu postojanost ili kada je hlađenje pod pritiskom nemoguće mora se pribeći posebnim konstrukcijama ovih mašina.**
- **Jedna od njih prikazana je na sledećem slajdu.**
- **Reč je o mašini sa trakastim transporterom koja omogućuje brzo hlađenje PTFE Poli(tetrafluoroetylen) folije te sprečava njeno topljenje.**
- **Ova mašina primenjuje se za proste ravne zavare i može postići i do 100 taktova u minuti.**



# ZAVARIVANJE KONTAKTNIM ZAGREVANJEM

## ZAVARIVANJE SA INDIREKTNIM UNOSOM TOPLOTE

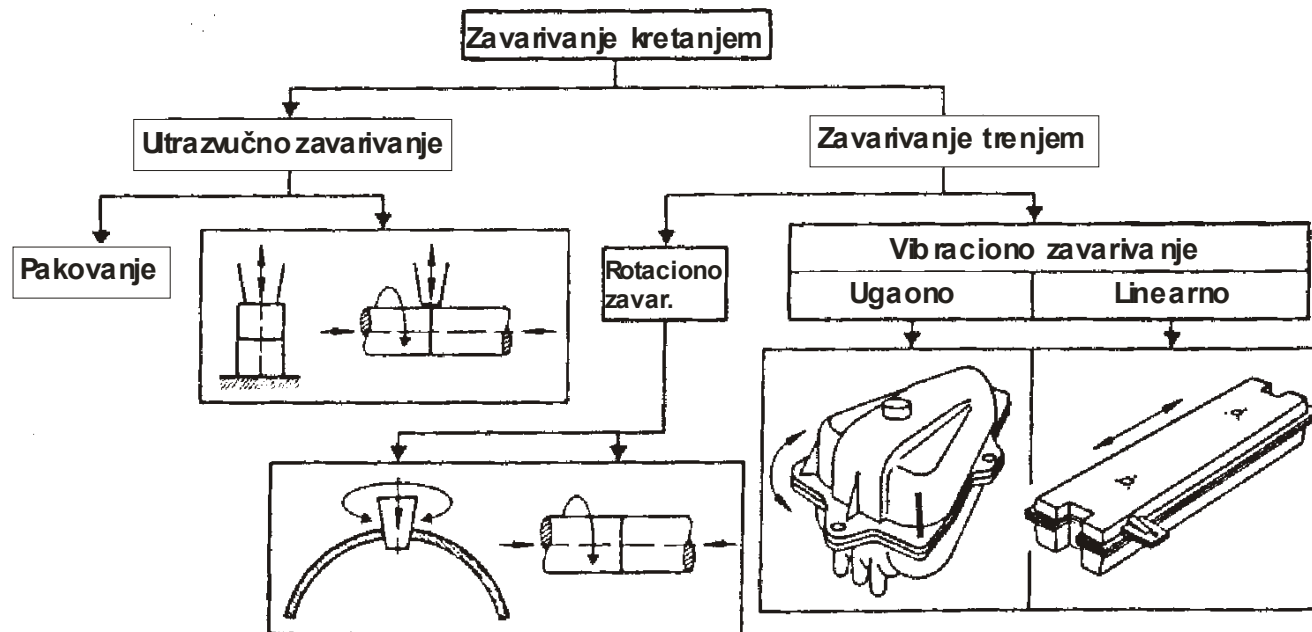
### Ostali postupci



Toplotno kontaktno zavarivanje  
trakastim alatom sa hlađenjem pod  
pritiskom

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

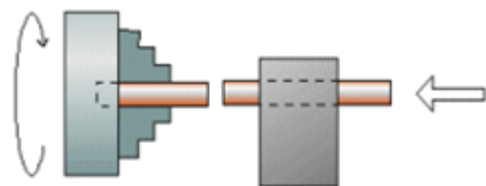
- Kod zavarivanja trenjem i ultrazvukom kretanje dva tela i njihovo unutrašnje i spoljašnje trenje stvaraju toplotu potrebnu za zavarivanje.



# ZAVARIVANJE KRETANJEM

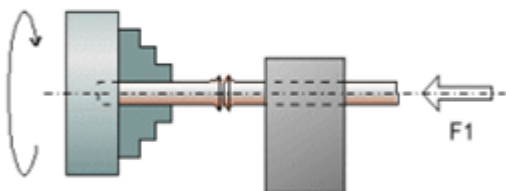
## ROTACIONO ZAVARIVANJE

- Kod rotacionog zavarivanja do topljenja zavarivanih površina dolazi usled trenja prouzrokovanog relativnim kretanjima zavarivanih komada i sile koja ih pritiska jedno ka drugom.



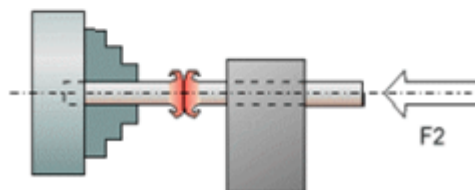
### FAZA 1.

Ostvarivanje relativnog kretanja (potrebnog broja obrtaja) i primicanje komada. Potrebno vreme 0.1-2s



### FAZA 2.

Zagrevanje kroz trenje prouzrokovano relativnim kretanjem i silom  $F_1$ .



### FAZA 3.

Ukidanje relativnog kretanja i zavarivanje silom  $F_2 > F_1$ .  
Sledi hlađenje i uklanjanje zavarenih komada.

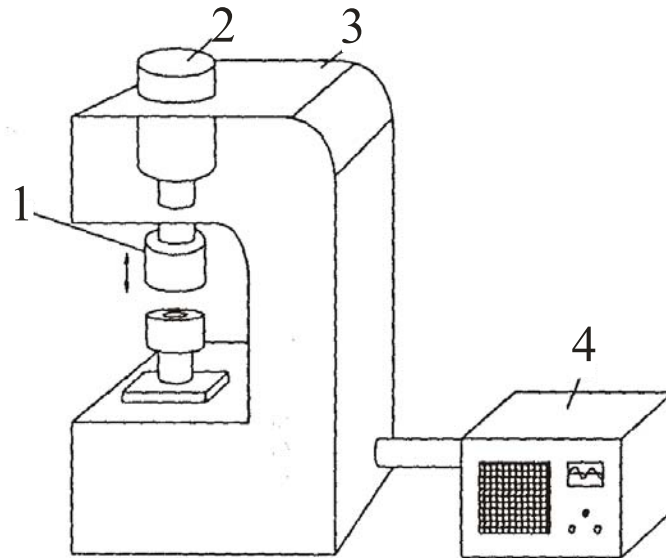
# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ROTACIONO ZAVARIVANJE

- Ovaj postupak je jedan od najstarijih kada su u pitanju zavarivanja polimera u serijskoj proizvodnji. Nekada se izvodio na običnim strugovima. Danas postoje mašine za rotaciono zavarivanje koje ovaj postupak dovode sve više u prvi plan.
- Standardna konstrukcija ove mašine ima sledeće elemente:
  - pogonsku i kočionu jedinicu,
  - jedinicu za presovanje,
  - jedinicu za prihvatanje i vođenje obradaka,
  - upravljačku jedinicu

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ROTACIONO ZAVARIVANJE



*Šematski prikaz mašine za rotaciono zavarivanje*

*1. presa 2. pogonska i kočiona jedinica 3. kućište 4. upravljačka jedinica*

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ROTACIONO ZAVARIVANJE

- Pogon ovih mašina mogu biti disk motori ili konvencionalni elektromotori kao i pneumatski motori.
- Za zaustavljanje mogu se primenjivati dve metode: brzo zaustavljanje (kočionim sistemima) i metoda inercionog zaustavljanja (odvajanje pogona od obradaka).
- Presa je po pravilu pneumatska i zadatak joj je da obezbedi dovoljan hod i pritisak radi ostvarivanja potrebnog trenja i sile zavarivanja.

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ROTACIONO ZAVARIVANJE

- Jedinica za prihvatanje i vođenje obradaka mora obezbediti isti pritisak kompletnoj površini koja se zavaruje.
- Takođe je bitno da ova jedinica prihvati obratke i spreči bilo kakvo proklizavanje osim onog neophodnog za odvijanje procesa.
- Konstrukciono se stezanje rešava u sprezi ili ozubljenim hvataljkama.
- Jedinica za upravljanje odgovara konstrukcionom rešenju prihvatanja obradaka.
- Moderne mašine imaju univerzalno regulisanje parametara.
- Za sam proces, a time i kvalitet zavara najbitnije je regulisanje pritiska.

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

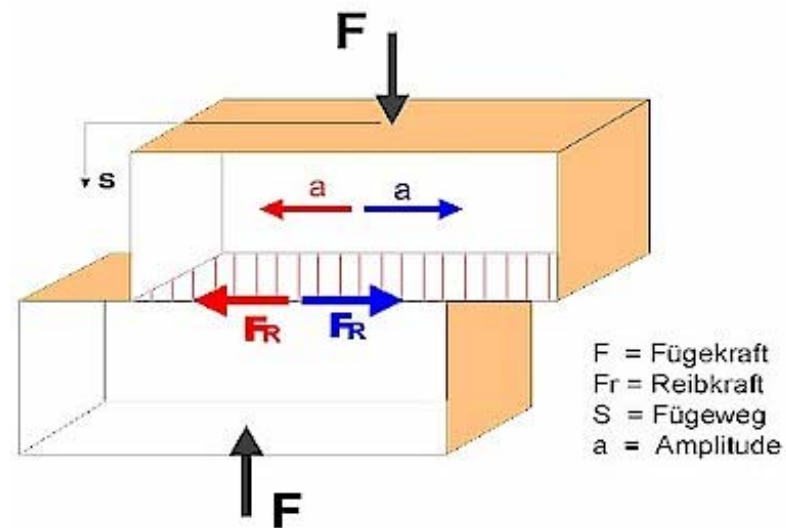
## VIBRACIONO ZAVARIVANJE

- Ovaj postupak je veoma sličan prethodnom sa tom razlikom što se toplota dobija trenjem usled periodičnog kretanja (vibracija).
- Što se vibracija tiče one mogu biti ostvarene **linearnim oscilovanjem, biaksijalnim oscilovanjem i ugaonim oscilovanjem.**



# ZAVARIVANJE KRETANJEM

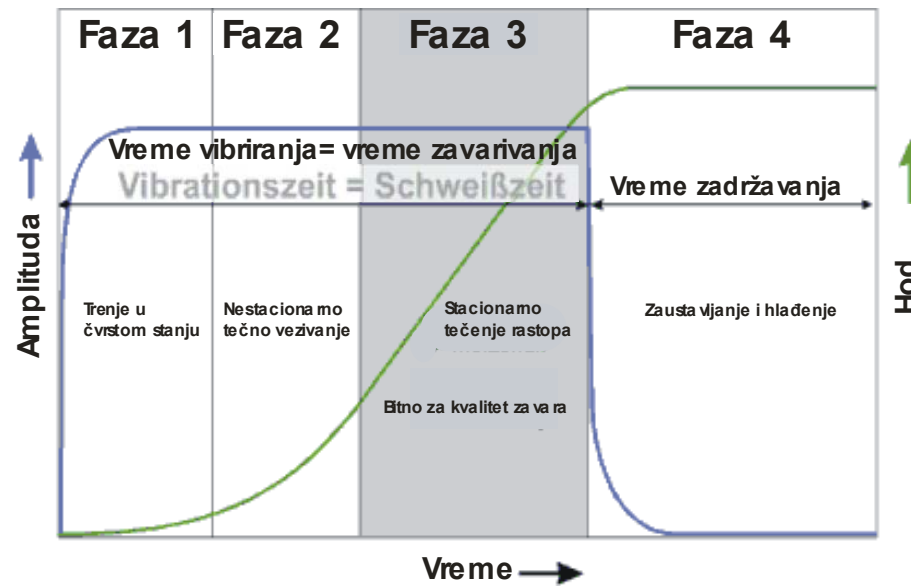
## VIBRACIONO ZAVARIVANJE



Šematski prikaz procesa vibracionog zavarivanja  
*F*-sila zavarivanje *F<sub>r</sub>*-sila trenja *S*-hod *a*-amplituda

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

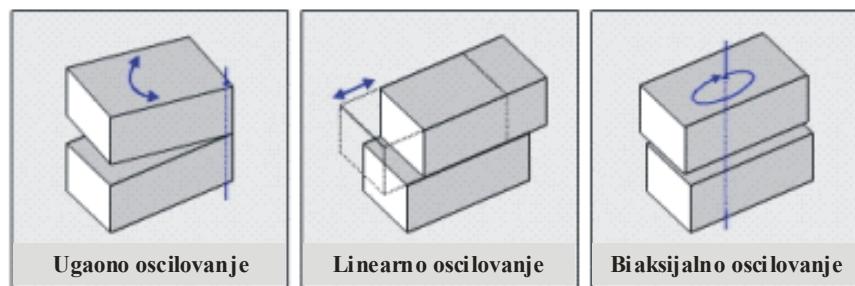
## VIBRACIONO ZAVARIVANJE



*Dijagram toka procesa vibracionog zavarivanja*

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE



*Vrste oscilovanja*

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE

- Mašine za ugaono vibraciono zavarivanje izvode se uglavnom u C-obliku.
- U gornjem delu mašine nalaze se mehanički sistem za ostvarivanje vibracija i hidraulični sistem za vertikalno pomeranje alata.
- Na žalost zbog mehaničkog vibro-sistema (frekvencije oko 100Hz) nemoguće je obezbediti dovoljnu krutost mašine za preciznije obrade.
- Stvar je drugačija kada se radi o linearnom vibracionom zavarivanju.
- Ove mašine su zatvorenog tipa (četiri stuba).
- I u ovom slučaju vibro-sistem nalazi se u gornjem delu mašine dok je donji deo pokretan (presa).
- Vibro-sistemi mogu biti elektromagnetni ili hidraulični.

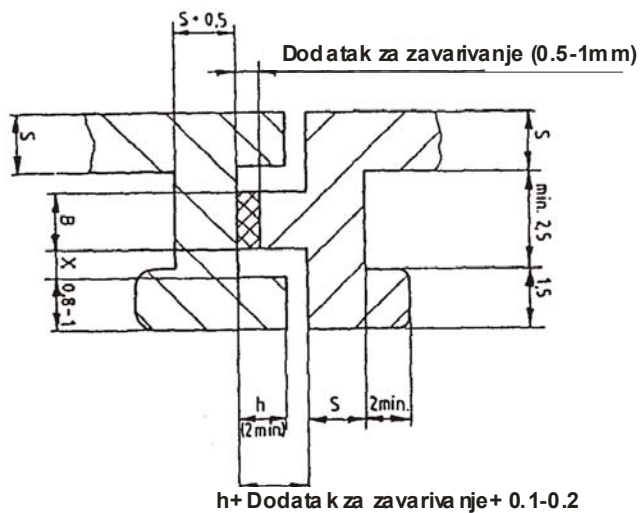
# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE

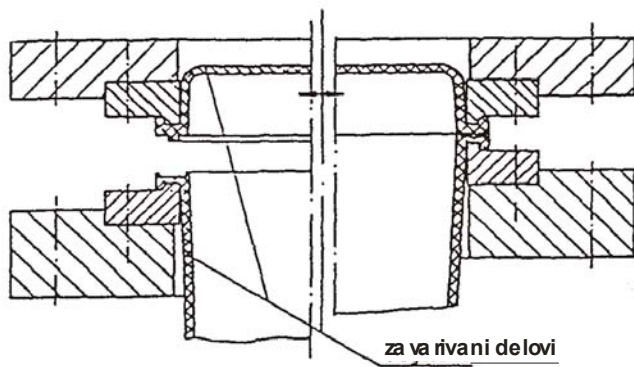
- **Elektromagnetni pogonski (vibracioni) sistem** prikazan je na *slici 19*.
- Kod ovog sistema vibracije se dobijaju tako što se pokretna ploča postavi između dva elektromagneta kojima se naizmenično menja polaritet.
- Da bi se poboljšale vibracione karakteristike i omogućilo umirenje i vraćanje pokretne ploče nakon isključenja elektromagneta u početni položaj ona se nalazi i između dve opruge.
- Mašine sa ovim vibracionim sistemom rade sa tačno određenim frekvencijama od 100Hz do 280Hz i sa amplitudama od 0,35 do 0,9mm.

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE



Alat za prihva tanje - princip



Elektromagnetni pogon vibacionog sistema

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE

- **Hidraulični pogonski (vibracioni) sistem** oscilovanje pokretne ploče (koja se i u ovom slučaju nalazi u jednom opružnom sistemu) ostvaruje pomoću para klipova koji se naizmenično aktiviraju pomoću hidrauličnih servoventila i osciluju pokretnu ploču traženom frekvencijom i amplitudom.
- Frekvencija se može kontinualno regulisati između 190 i 280Hz kao i amplituda koja se kreće u granicama od 0 do 2,4mm.
- Kod oba ova sistema pomeranje radnog stola je hidraulično, tako da se pritisak potreban za proces zavarivanja (1,50 do 2,00N/mm<sup>2</sup>) ostvaruje bez problema.

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE

- Novije mašine za vibraciono zavarivanje imaju mogućnost regulacije ovog pritiska za vreme ciklusa, što obezbeđuje kvalitetniji zavar. Tok promene pritiska zavarivanja treba da ima sledeće faze:
  - u fazi zatvaranja (pomeranja stola na gore) pritisak treba da je što manji da ne bi došlo do deformacije hladnih komada,
  - sa početkom vibracije pritisak se povećava tako da obezbedi potrebnu plastifikaciju u optimalnom vremenskom periodu,
  - kada se dostigne željena dubina prodiranja jednog komada u drugi pritisak se smanjuje kako ne bi došlo do dodatnog topljenja i preteranog deformisanja delova.



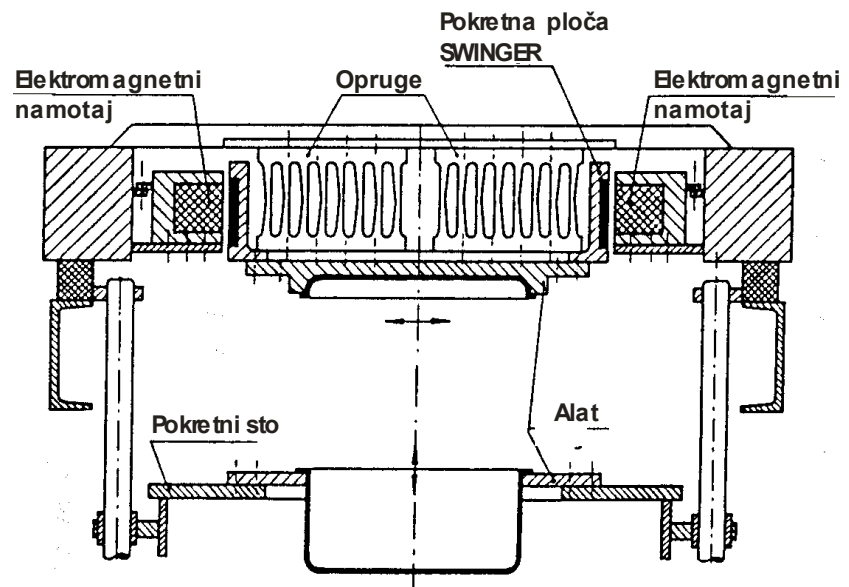
# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE

- **Jedan proces vibracionog zavarivanja koji je prikazan iznad traje od prilike oko 20 sekundi.**
- Ove mašine su veoma bučne (zbog vibrirajućih elemenata) pa ih je neophodno akustično izolovati i time nivo bučnosti dovesti ispod granice od 80dBA.
- **Ove mašine prave se u raznim veličinama koje zavise od dimenzija radnog komada. Najmanje su predviđene za radne komade dimenzija 600x400mm dok veće mogu da zavaruju i komade 1800x500mm (površina zavarivanja 300cm<sup>3</sup>).**
- Što se automatizacije ovih mašina tiče moguće je obezbediti automatsko dovođenje radnih delova kao i odlaganje i transport gotovih delova.
- Na jednu mašinu je moguće postaviti više vibracionih alata koji ne moraju da budu horizontalno postavljeni već mogu da se orintišu u zavisnosti od radnog komada.

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

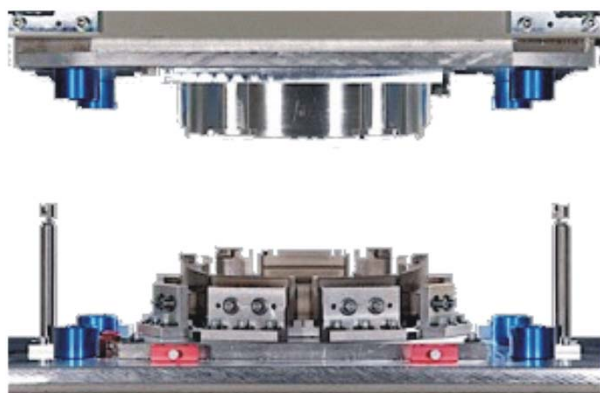
## VIBRACIONO ZAVARIVANJE



Elektrohidraulični pogon mašine za vibraciono zavarivanje

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## VIBRACIONO ZAVARIVANJE



Alat i mašina za vibraciono zavarivanje

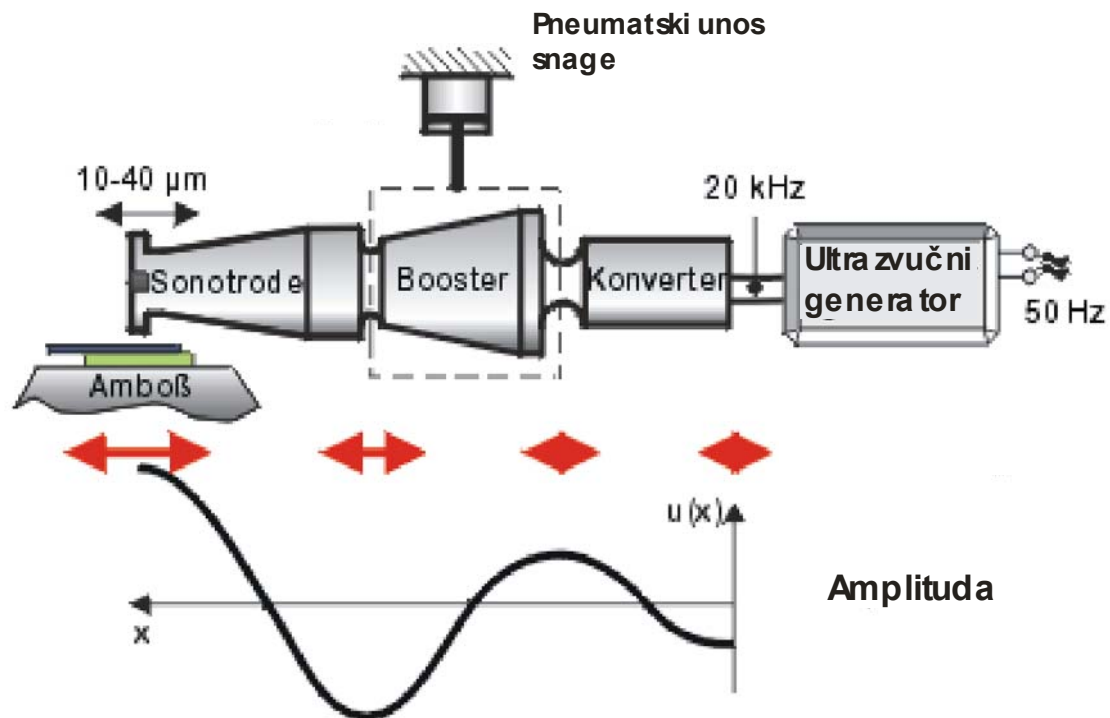
# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ULTRAZVUČNO ZAVARIVANJE

- Kao u prethodnom slučaju i ovde se toplotna energija potrebna za zavarivanje ostvaruje pomoću spoljašnjeg i unutrašnjeg trenja.
- Ovde se na obradak prenose **longitudinalni talasi** koji u njemu izazivaju stojeće talase.
- Zavarivani komadi moraju biti tako dimenzionisani da se u ravni zavara ostvaruje maksimalno kretanje molekula i time obezbedi dovoljno zagrevanje.
- Ovim postupkom može se izvoditi i tačkasto zavarivanje kao i zavarivanje folija.

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ULTRAZVUČNO ZAVARIVANJE



Šematski prikaz procesa ultrazvučnog zavarivanja

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ULTRAZVUČNO ZAVARIVANJE

- Ultrazvučno zavarivanje može biti:
  - **indirektno zavarivanje** (daleko ultrazvučno polje) – rastojanje od čela sonotrode do tačke zavarivanja veća od 6mm,
  - **direktno zavarivanje** – rastojanje od čela sonotrode do tačke zavarivanja manja od 6mm,
  - **zavarivanje folija** – koje je u principu direktno zavarivanje ali zbog zvučne propustivosti folija mora se posmatrati posebno. **Folije debljine ispod 0,1mm ovim postupkom nije moguće zavarivati.**

# **ZAVARIVANJE KRETANJEM**

## **ULTRAZVUČNO ZAVARIVANJE**

- Mašina za ultrazvučno zavarivanje sastoji se od:
  - kućišta,
  - ultrazvučnog generatora,
  - konvertora,
  - sonotrode,
  - jedinice za presovanje,
  - pribor za prihvatanje radnih komada,
  - upravljačke jedinice.

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ULTRAZVUČNO ZAVARIVANJE

- **Kućište** ovih mašina uglavnom je u C-izvedbi. U gornjem delu kućišta nalazi se presa i ultrazvučna jedinica (**ULTRAZVUČNI GENERATOR-KONVERTOR-POJAČAVAČ-SONOTRODA**), dok se u donjem delu nalazi pribor za prihvatanje i stezanje radnih komada.
- **Konvertor** ima zadatak da visokofrekventnu električnu energiju pretvori u mehaničke oscilacije (longitudinalne talase). U tu svrhu koristi **se piezokeramički element** sa stepenom iskorišćenja od 95%. **Radna frekvencija ovog elementa kreće se oko 20kHz, a u ekstremnim slučajevima može dostići i učestalost od 50kHz.**



# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ULTRAZVUČNO ZAVARIVANJE



Mašina za ultrazvučno zavarivanje

# ZAVARIVANJE KRETANJEM

## ULTRAZVUČNO ZAVARIVANJE

- **Pojačavač** prosleđuje mehaničke oscilacije do sonotrode i pri tome im koriguje amplitudu na veličinu koju zahteva sonotroda. Menjanjem pojačavača može se regulisati amplituda mehaničkih oscilacija.
- **Sonotroda** (alat) ima za zadatak prenos oscilacija, prenos sile zavarivanja i pretvaranje ulazne amplitude u izlaznu (radnu) amplitudu.
- **Presa** po pravilu ima pneumatski pogon i obezbeđuje potrebna kretanja alata i silu potrebnu za zavarivanje.

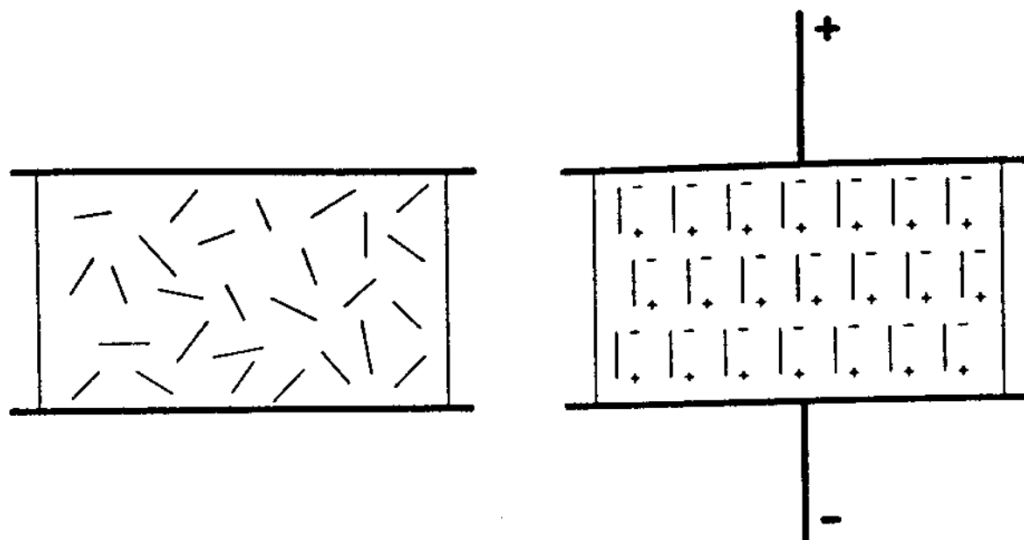
# ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM

## VISOKOFREKVENTNO ZAVARIVANJE

- Najrasprostranjenija tehnologija zavarivanja kada su u pitanju zavarivanja električnom energijom jeste kapacitivno visokofrekventno zavarivanje (VF-zavarivanje).
- **Njome se zavaruju folije svih vrsta.**
- Ova tehnologija zasniva se na polarnim grupama koje materijal koji se zavaruje mora posedovati.
- **Ako predstavimo obradak kao homogeno telo koje je građeno od diopola i izložimo ga naizmeničnom magnetnom polju dipoli će se kretati antiparalelno polovima polja.**
- Povećamo li dovoljno frekvenciju magnetnog polja doći će do generisanja toplote usled unutrašnjeg trenja.

# ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM

## VISOKOFREKVENTNO ZAVARIVANJE



Princip visokofrekventnog zavarivanja (stvaranje dipola)

# ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM

## VISOKOFREKVENTNO ZAVARIVANJE

- **Relativnoom dielektričnom konstantom se izvažava zavarljivosti materijala tehnologijom visokofrekventnog zavarivanja i to sledećim vrednostima:**
  - $\varepsilon_r > 0.1$       **jako dobro zavarljiv materijal**
  - $0.1 > \varepsilon_r > 0.01$       **zavarljiv materijal**
  - $\varepsilon_r < 0.01$       **nezavarljiv materijal**
- **Posle svega mogu se navesti neki od materijala koji se mogu zavaritati ovim postupkom: PVC, PUR, PA, PVDC, EVA, ABS i CA.**

# **ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM**

## **VISOKOFREKVENTNO ZAVARIVANJE**

- **Pored toplote za proces zavarivanja potrebno je obezbediti i pritisak radi dobijanja kvalitetnog zavara.**
- **Osnovni delovi mašine za visokofrekventno zavarivanje su visokofrekventni (VF) generator sa jedinicom za upravljanje i presa.**
- **VF-generator pretvara mrežnu frekvenciju od 50Hz u onu potrebnu za proces zavarivanja koje se kreću oko 27,12kHz.**

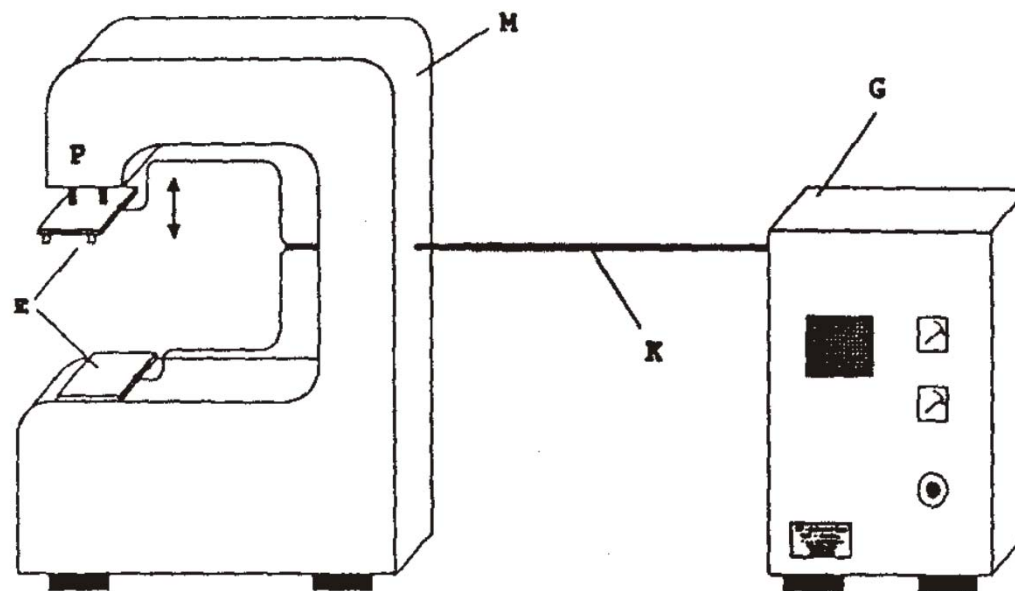
# ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM

## VISOKOFREKVENTNO ZAVARIVANJE

- Iz generatora se energija putem koaksijalnih vodova prenosi na elektrode koje se nalaze na presi.
- Ove mašine mogu imati C-konstrukciju koja se po pravilu teško sreću u praksi.
- Naime ove mašine su u praksi komplikovanije jer se na njima obično obavlja i odsecanje, konfekcija, transportovanje itd.
- Postoje sledeće konstruktivne varijante ovih mašina:
  - mašine sa dva pokretna stola
  - mašine sa obrtnim stolom
  - mašine sa beskonačnom trakom

# ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM

## VISOKOFREKVENTNO ZAVARIVANJE



Šematski prikaz mašine za visokofrekventno zavarivanje  
M-kućište mašine G-generator P-presa E-radne elektrode  
K-koaksijalni vod



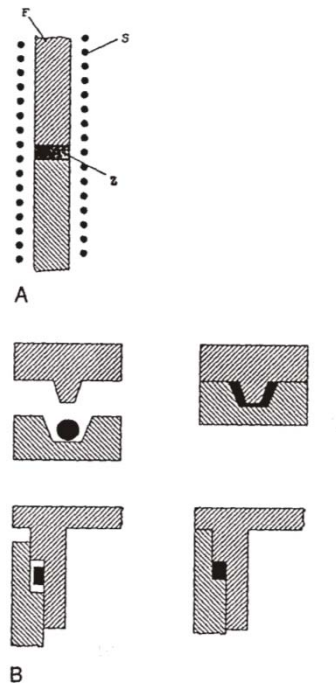
# **ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM**

## **INDUKCIONO ZAVARIVANJE**

- Indukciono zavarivanje (elektromagnetno zavarivanje) je manje poznata tehnologija zavarivanja termoplastičnih materijala.
- Postupak se zasniva na stvaranju toplotne energije indukcijom direktno u samom zavaru.
- Da bi neki materijal mogao da se zavaruje ovom tehnologijom mora u sebi sadržati metal.
- Kao elektromagnetni punioci koriste se oksidi koji mogu biti sadržani u samom termoplastu ili se mogu postavljati između zavarivanih površina.
- Rastojanje između vodom hlađenog namotaja i mesta zavarivanja trebalo bi da je što manje jer je količina indukovane toplote obrnuto proporcionalna ovom rastojanju.

# ZAVARIVANJE ELEKTRIČNOM STRUJOM

## INDUKCIONO ZAVARIVANJE



*Princip (A) i vrste šavova (B) kod indukcionog zavarivanja.  
S-namotaj F-zavarivani materijal Z-dodatni (metalni) materijal*

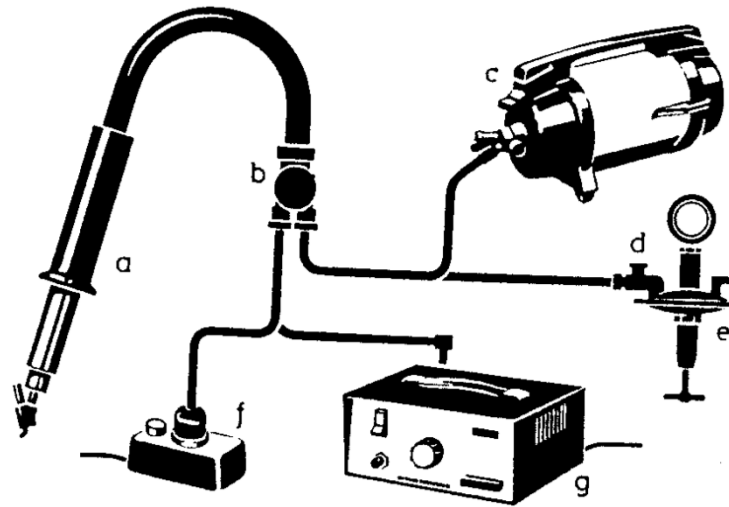
## ZAVARIVANJE GASOM

# ZAVARIVANJE TOPLIM GASOM

- Kod ovog postupka se materijal greje na specijalnom pripremljenim površinama i zavaruju primenom pritiska, sa ili bez dodatnog materijala.
- Pritisak se može ostvarivati ručno ili mehanički.
- **Dodatni materijal bi trebao da bude isti kao i zavarivani. Proizvodi se u obliku žice u raznim profilima.**
- Za ovaj postupak su, kao i za gasno zavarivanje metala, bitni sledeći parametri: temperatura gasa, mešavina gasa, pritisak i brzina zavarivanja.
- **Uređaj za zavarivanje toplim gasom jeste jedna kompaktna celina sa sledećim elementima: držač, grejna komora, dizna, termoelementi, priključak za struju i vazduh.**
- U zavisnosti od primene može se birati među raznim mogućnostima priključka.

# ZAVARIVANJE GASOM

## ZAVARIVANJE TOPLIM GASOM



*Šema priključka uređaja za zavarivanje toplim gasom*  
*a-uređaj b-razvodnik c-kompresor vazduha d-centralno*  
*napajanje vazduhom e-ventil pritiska f-prekidač*  
*g-regulaciona jedinica*

# ZAVARIVANJE GASOM

## ZAVARIVANJE TOPLIM GASOM

- Postoje sledeća konstrukciona rešenja ovih mašina:
  - ručne mašina sa fenom ugrađenim u rukohvatu
  - ručne mašine sa fenom kao posebnim uređajem
  - automatske mašine (za zavarivanje ploča, folija, podnih obloga...)

## **ZAVARIVANJE GASOM**

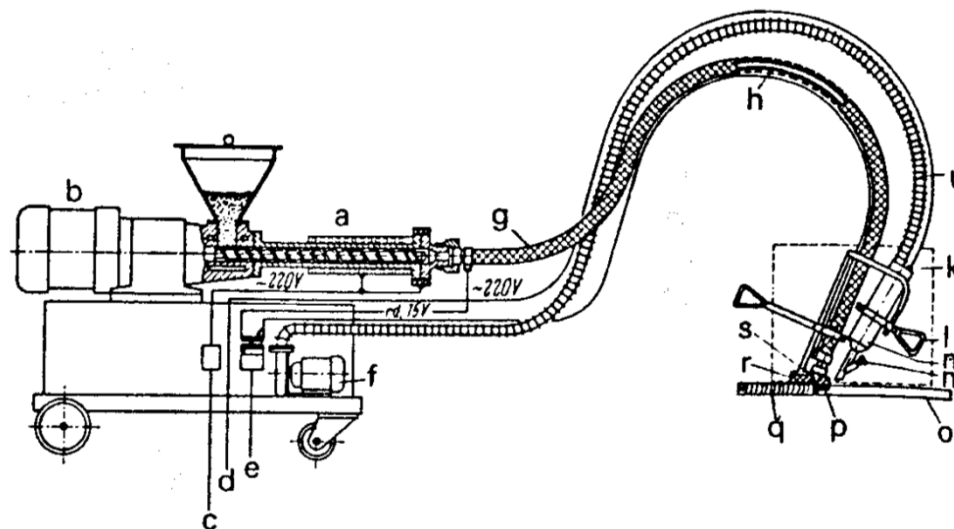
### **EKSTRUZIONO ZAVARIVANJE**

- **To je nadogradnja na zavarivanje toplim gasom i veoma je slično tom postupku. Razlika je samo u načinu dovođenja dodatnog materijala.**
- **Ove mašine možemo podeliti u sledeće grupe:**
  - **ručna mašina za ekstruziono zavarivanje**
  - **mašine sa odvojenim jedinicama za plastifikaciju**
  - **mašine za zavarivanje dugačkih zavara**

Ove mašine se postavljaju na automatski upravljana vozila i njima se zavaruju dugački zavari npr. polimerne folije na deponijama.

# ZAVARIVANJE GASOM

## EKSTRUZIONO ZAVARIVANJE



Uređaj za ekstruziono zavarivanje

**a-ekstruder** **b-regulacioni motor** **c-regulator temperature ekstrudera** **d-dovod struje za grejač vazduha** **e-regulator temperature creva** **f-kompresor vazduha** **g-toplotna izolacija creva** **h-PTFE crevo** **i-vazdušno crevo** **k-zavarivačka glava** **l-rukohvat** **m-grejač vazduha** **n-termometar** **o-materijal** **p-nos zavara** **r-zavar**

# ZAVARIVANJE GASOM

## EKSTRUZIONO ZAVARIVANJE



*zavarivačka glava uređaja za ekstruziono zavarivanje*



# ZAVARIVANJE ZRAČENJEM

- **Ovaj vid zavarivanja kod polimernih materijala nije našao veliku primenu.**
- **Može se primeniti kao zamena nekih drugih vidova zagrevanja materijala.**
- **Na primer kod ekstruzionog zavarivanja može se umesto toplim vazduhom dodatni materijal grejati nekom vrstom toplotnog zračenja.**
- **Lasersko zavarivanje polimernih materijala još je u razvoju i od njega se očekuje visoka produktivnost i kvalitet.**