

VARJENJE

4 UPOROVNO VARJENJE

4.1 Splošno

Uporovno varjenje je zvarjanje z električno energijo v toplem stanju. Varjenca ogreje na zvarnem mestu joulska toplota, ki se sprosti pri prehodu električnega toka skozi zvarni stik zaradi upornosti materiala ($R_m = \rho \times l/A$) in zlasti prehodne upornosti v stiku med obema varjencema (R_s). Upornost sekundarnega tokokroga je:

$$R_2 = R_{Cu} + R_m + R_s$$

(R_{Cu} - upornost bakra v sekundarnem tokokrogu, R_s - prehodna upornost v stikih: elektroda-varjenec, varjenec-varjenec; $R_{Cu} \ll R_s$).

Množina sproščene toplote je:

$$Q = U \cdot I \cdot t \text{ [J]} = I^2 \cdot R \cdot t \text{ [J]}$$

(U - napetost [V], I - tok [A], t - čas [s], $R = R_m + R_s$ - upornost v materialu in stiku).

4.1.1 Soležno uporovno varjenje

Pri soležnem zvarjanju sta varjenca vpeta med elektrodi - vpenjalne čeljusti - tako, da se stikata po čelnih ploskvah. Čelj usti so gibljive (vsaj ena od obeh) v smeri osi varjencev.

Soležno uporovno zvarianje s stiskanjem. Varjenca sta staknjena z ravnima in čistima čelnima ploskvama. Pritisk je v začetku manjši, po ogretju na varilno temperaturo se s povečano silo, ob izključenem toku, varjenca zvarita (nastanek žmule, slika 25 A, a).

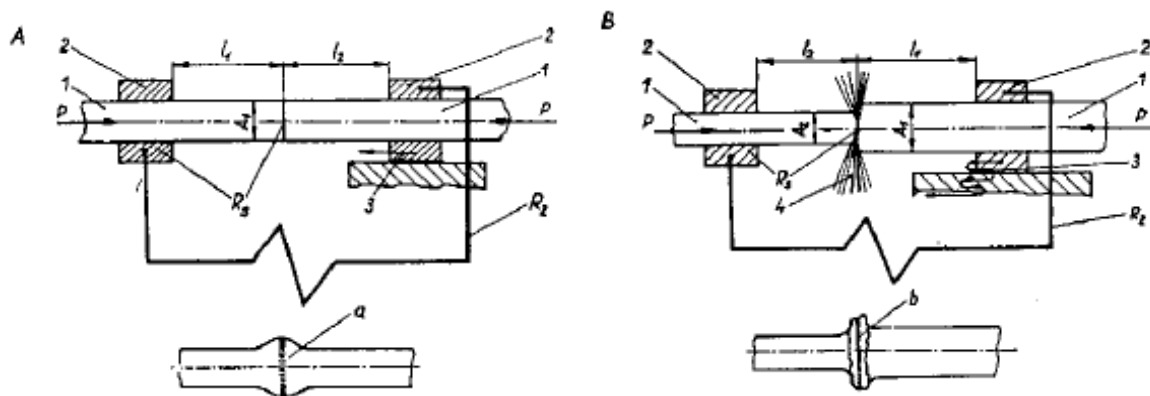
Iz stika po čelnih ploskvah ni možno odstraniti oksidov in ostanejo delno v zvaru. Zato je postopek primeren le za statično obremenjene zware, manjše prereze (do 200 mm²), enako velike, preproste in polne profile iz istovrstnih materialov.

Pri soležnem - obžigalnem, uporovnem zvarjanju so čelne ploskve lahko neobdelane. Ob staknitvi steče skozi stično ploskev na določenih mestih (mostiščih) električni tok zelo velike gostote (mostišča zavzamejo le nekaj odstotkov celotnega prereza). Kovina se v mostiščih ogreje do vrelišča in ob razmaknitvi varjencev pride do eksplozijskega izmetavanja oksidirane kovine. To se ponavlja, dokler se varjenca ne ogrejeta na varilne temperaturo in se stični ploskvi očistita oksidov. Tedaj je treba tok prekiniti in varjenca s povečanim pritiskom zvariti. Pri tem se varjenec za določeno dolžino skrajša. Dolžino in čas obžiganja zmanjša še primerno dolgo uporovno predgrevanje pred obžiganjem (varjenca sta v neprekinjenem kratkem stiku)

Zvaritvi sledi obsekavanje grebena, prekovanje zvara in ponovno ogretje (normalizacija in plastično pregnetenje). Tako dosežemo trdnosti zvarnih spojev, ki presegajo trdnost izhodnega materiala.

Ta način je primeren za mnogo večje prereze (nekaj tisoč mm²), različno oblikovane in različno velike profile ter tudi za zvarjanje različnih kovin med seboj. Treba je le paziti na enakomerno ogrevanje (slika 25 b), po obrazcu: $Q = I^2 \cdot R$ in ob upoštevanju, da je $R = (\rho \times l/A)$, mora biti pri $A_1 > A_2$ tudi $l_1 > l_2$ in pri $\rho_1 > \rho_2$ tudi $l_1 < l_2$

Pri zvarjanju obročastih varjencev pride do izgub zaradi kratkega stika skozi obroč (do 20% dovedene energije). Te izgube lahko zmanjša dušilka (slika 27).



Slika: 25 .. **Soležno uporovno. zvarjanje**, A - s stiskanjem, B – obžiganjem
 (a. - žmulasti zvar, b - grebenasti zvar,
 1 - varjenec, 2 - vpenjalne elektrode, 3 - gibanje vpenjalnih elektrod
 4 - obžiganje varjenca , l_1 in l_2 prosta dolžina varjenca, A_1 in A_2 prevez varjencev,
 R_2 - sekundarni tokokrog)

4.1.2 Prekrovno uporovno varjenje

Osnovni načini prekrovnega zvarjanja so: točkovno, bradavično in kolutno varjenje.

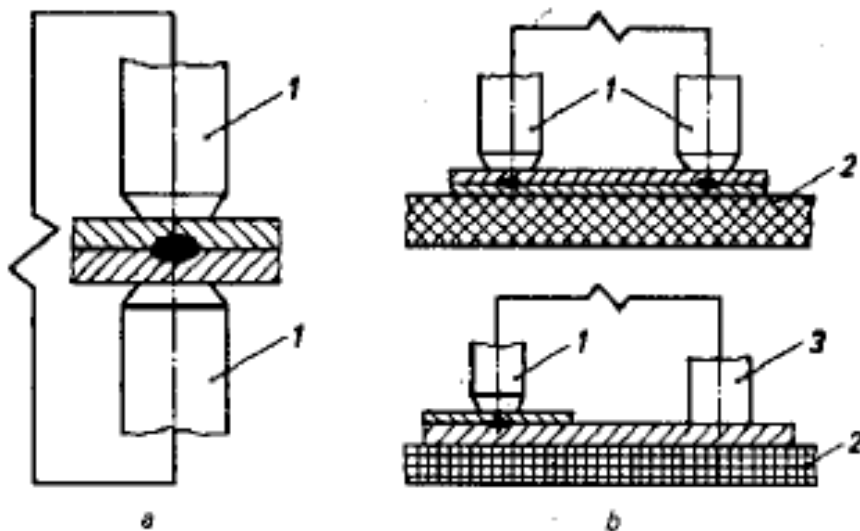
Pri točkovnem uporovnem zvarjanju teče tok (tokovni impulz) skozi valjasti elektrodi iz dobro prevodne kovine (slika 28). Med elektrodama sta pritisnjena varjenca, Zaradi upornosti v stiku varjencev pride do hitrega ogretja in pri zadostni temperaturi (1250 do 1450 °C) se material pod pritiskom zvari. Hkrati lahko zavarirno ročno ali avtomatsko z dvojico elektrod eno točko ali več točkovnih zvarov (z večjim številom elektrodnih parov) na točkovnih avtomatih (zvarjanje istočasno ali pogosteje v določenem zaporedju oziroma skupinah).

Bradavično zvarjanje je poseben način točkovnega varjenja.

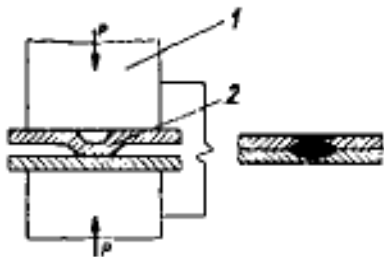
Eden izmed varjencev (normalno tanjši) je oblikovan v majhno izboklino - bradavico - in zvarna točka nastane samo na tistem mestu. Zvarjamo vedno hkrati večje število bradavic, zato so potrebni mehansko in električno močnejši varilni stroji (transformatorji).

Ker je pri bradavičnem zvarjanju potrebna dodatna operacija in zanjo potrebna oprema (oblikovanje bradavic, slika 30) in močnejši stroji, je ta način ekonomičen predvsem pri masovni proizvodnji. Potrebni pogoj je ploskovna razmestitev bradavic (število bradavic in velikost ploskve sta odvisni od moči transformatorja).

Možno je tudi zvarjanje varjencev zelo različnih debelin (odkovkov s pločevino), žice in raznih profilov.

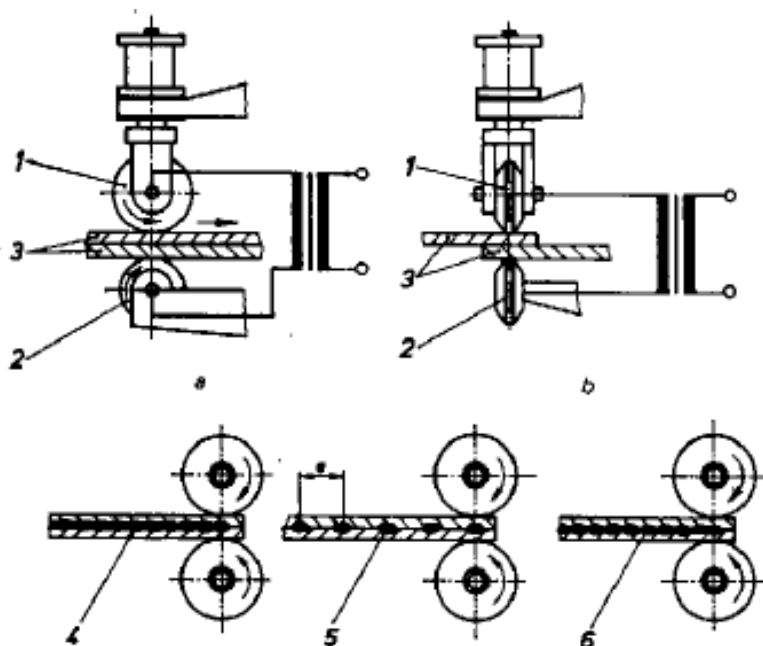


Slika 28. **Točkovno uporovno varjenje** (a - eno točkovno, b - dvotočkovno, 1 - elektrodi, 2 - prevodna podloga, 3 - slepa elektroda, samo za prevajanje toka)



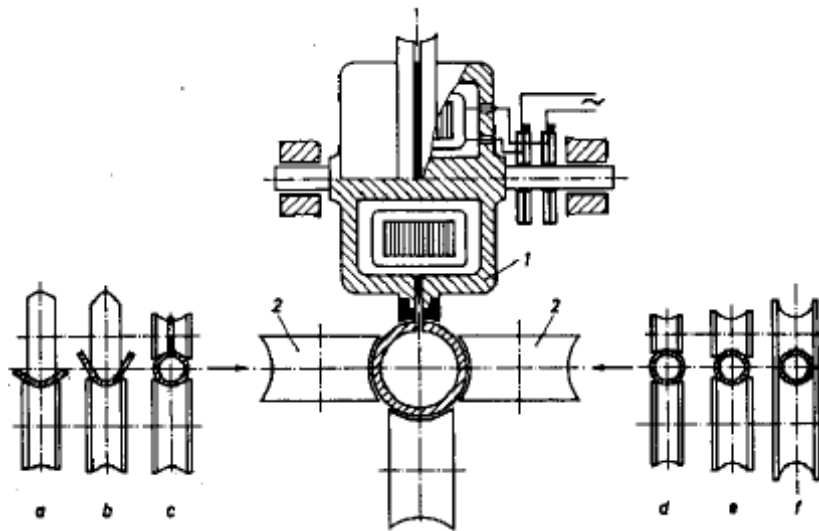
Slika 29. **Bradavično zvarjanje** (1 - elektroda, 2 - bradavica, 3 - zvarna točka)

Kolutno zvarjanje poteka med dvema kolutnima elektrodama (slika 31). Varimo lahko neprekinjeno ali s tokovnimi impulzi; glede na to nastane neprekinjen zvar ali zvar s prekinitvami, To je odvisno od dolžine tokovnega impulza in prekinitve, ki mu sledi.



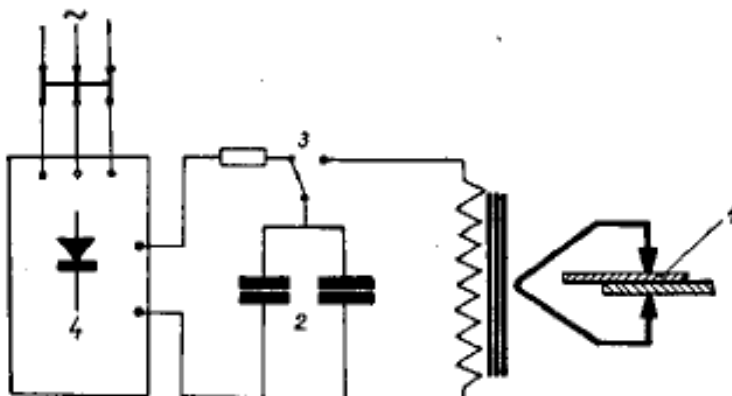
Slika 31. **Kolutno zvarjanje**, a - vzdolžni zvar, b - prečni zvar, 1 - varilni kolut, zgornji, 2 - spodnji kolut, 3 - varjenec, 4 - neprekinjeni zvar, 5 - impulzni spenjalni zvar, 6 - impulzni tesni zvar

Varjenje lahko poteka med korakoma se vrtečimi koluti (kolut se po varjenju zavrti dalje šele po ohladitvi zvara) ali pa (pogosteje) med neprekinjeno se vrtečimi koluti. Poseben način kolutnega zvarjanja je soležno zvarjanje vzdolžnih zvarov na ceveh (slika 32).



Slika 32. **Kolutno zvarjanje cevi** (a, b, c - oblikovalni koluti, d, e, f - kalibrirni koluti, 1 - varilni transformator z varilnima kolutoma, 2 - pritiski koluti z nezvarjeno cevjo)

Pri kondenzatorskem uporovnem varjenju so v primarni tokokrog varilnika vključeni kondenzatorji (slika 33). V določenem trenutku se kondenzator sprazni po primarnem tokokrogu s kratkotrajnim (10^{-3} s), a zelo močnim tokovnim sunkom, S tem se skrajša varilni čas, omogoči hitro ogretje in zvaritev nekaterih materialov z visoko temperaturo tališča ali dobro toplotno pre vodnostjo (Cu, Ag). S počasnejširn polnjenjem kondenzatorja je tudi zunanje električno omrežje obremenjeno z mnogo manjšimi sunki.



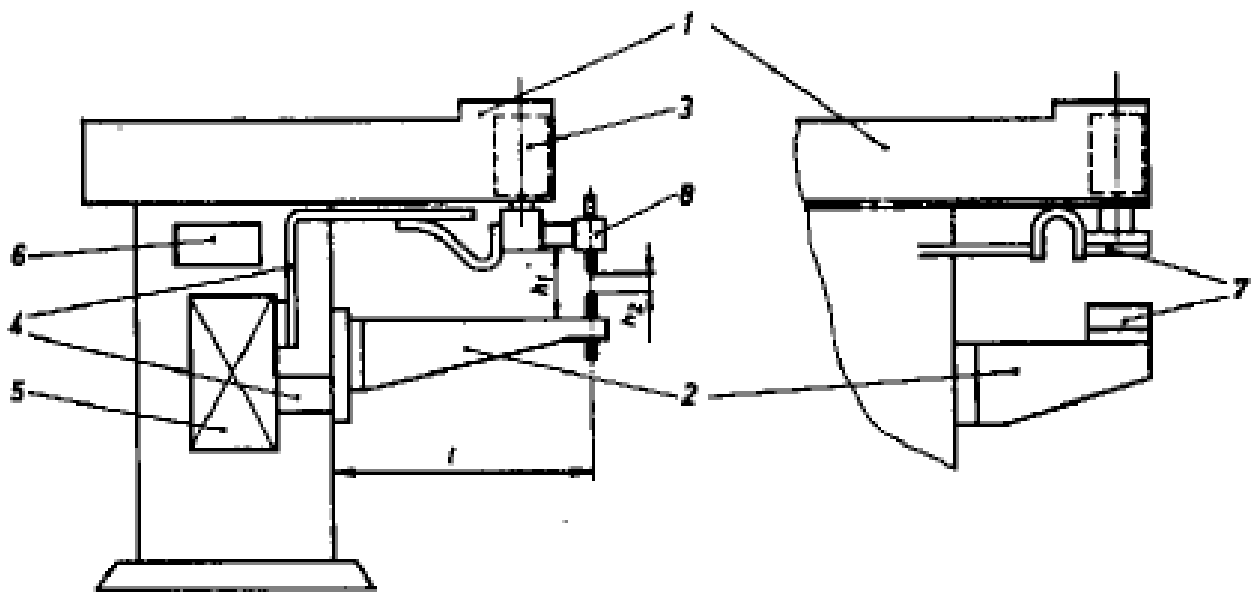
Slika 33. **Shema kondenzatorskega uporovnega varjenja** (1 - varjenec v sekundarnem tokokrogu, 2 - kondenzatorji, 3 - pretikalno, 4 - napajalni usmernik)

4.2 Tehnologija uporovnega varjenja

Tok (ali gostoto toka) oziroma sekundarno varilne napetost, pritisk in varilni čas naravnava glede na vrsto in dimenzijo materiala.

4.2.1 Varilni parametri

Tok uravnava na transformatorjih z napetostjo in je odvisen tudi od upornosti v sekundarnem tokokrogu, torej od pritiska in kvalitete stične površine varjencev. Lahko pa tok reguliramo tudi z elektronskim moduliranjem med maksimalno vrednostjo in nič. Pri kovinah z dobro prevodnostjo je tok večji kot pri onih s slabo, tokovni impulzi pa so kratki. Z uravnavanjem toka uravnava tudi dovedeno energijo. Pri raznih načinih varjenja obstaja veliko možnosti regulacij toka ($I - t$ - diagrami).



Slika 37. **Mehanske karakteristike točkovnega varilnika:**

1 - izteg ročice, h_1 - razmik ročic, h_2 - razmik elektrovodnih konic
(1 - gornja ročica, 2 - spodnja ročica, 3 - pritiski valj, 4 - sekundarni dovod toka,
5 - transformator, 6 - časovnik, 7 - elektrodi za bradavično varjenje)

Kolutno zvarjanje je omejeno na manjše debeline, ker se pojavljajo velike izgube toka skozi že zavarjena mesta. Hitrost varjenja je odvisna od števila in frekvence impulzov. Debelina materiala je omejena pri jeklu na 3,5 mm, pri medu do debeline 1,5 mm, pri bronu do 0,8 mm, pri lahkih kovinah do 2,0 mm; pri bakru ni mogoče zvariti tesnih zvarov.

Pri kolutnem zvarjanju je zelo važna dobra priprava materiala pred varjenjem (mehansko čiščenje robov) in vedno čista površina kolutov.

4.2.2 Elektrode za uporovno varjenje

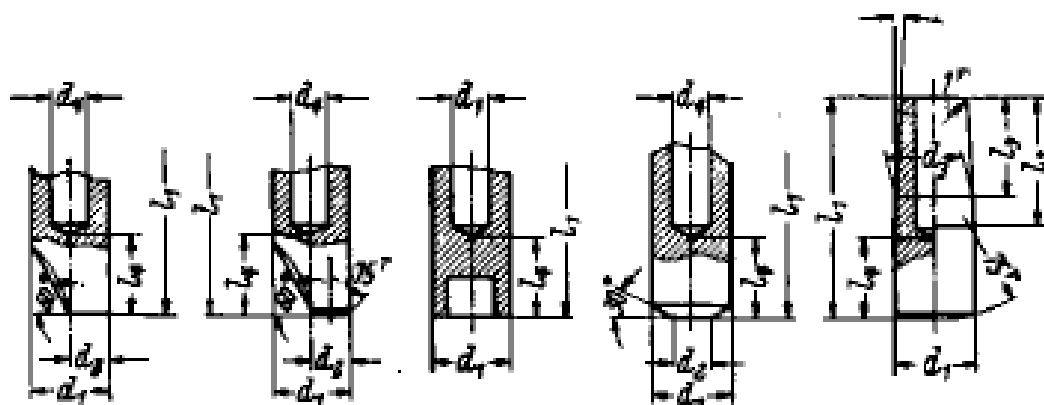
Pri uporovnem varjenju so elektrode izpostavljene veliki obrabi. Izoblikovanje je odvisno od postopka in od oblike ter materiala varjencev. Elektrode prenašajo na varjence potrebno električno in mehansko energijo. Imeti morajo dobro električno in toplotno prevodnost,

zadostno trdnost in trdoto tudi pri povišani temperaturi in majhno nagnjenje k tvorbi zlitin z varjencem. V razpredelnici 42 so navedeni najbolj primerni elektrodni materiali za določene osnovne materiale:

Razpredelnica 42

Material varjenca	Elektrodni material	Material varjenca	Elektrodni material
jeklo	zlitina Cu-Cr	molibden	zlitina Cu-Cr
aluminij	E Cu (elektrolit.)	nikelj	vstavki Mo
baker	vstavki W ali Mo	cink	vstavki W
bakrove zlitine	vstavki W	srebro in zlato	vstavki W
medi	E Cu	titan in zlitine	zlitina Cu-Co-Be

Na strojih za soležno in bradavično zvarjanje so elektrode lahko tudi iz utrjenega elektrolitskega bakra, varilni koloti pri kolutnem zvarjanju pa morajo biti iz legiranega bakra.



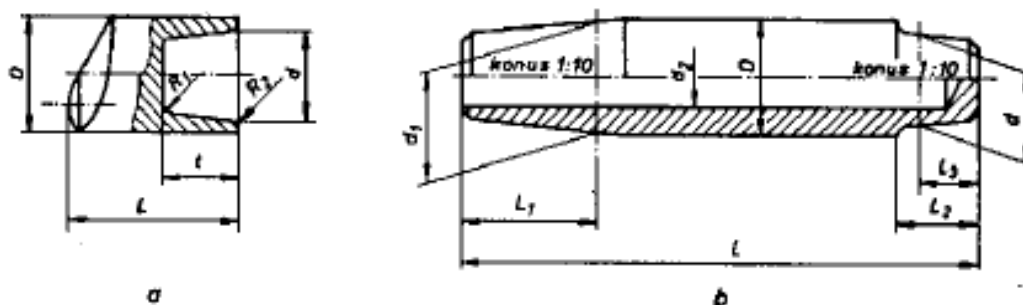
Slika 38: Vsadne konice elektrod za točkovno varjenje

Elektrode za to

kovno varjenje morajo biti intenzivno hlajene.

Elektrode za točkovno varjenje morajo biti intenzivno hlajene.

Lahko so ravne, valjaste, za varjenje na težje dostopnih mestih ukrivljene in ekscentrične, ki pa so manj toge. Na slikah 38 in 39 je nekaj oblik nasadnih konic za vstavljanje in v obliki kaplje, na sliki 40 pa nekaj elektrod posebnih oblik. Z vložki v konici elektrode se zmanjša poraba dragega elektrodnega materiala.



Slika 39. Elektrodne konice v obliki kopic (a) in nosilec (b)