

VARJENJE

3 TALILNO VARJENJE Z ELEKTRIČNO ENERGIJO

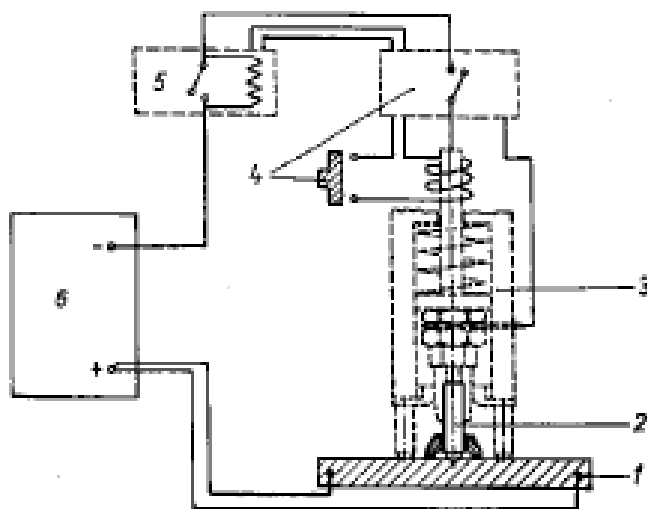
Glavni vir energije je toplota, ki se sprošča pri eksotermičnih kemičnih reakcijah, kot so: zgorevanje plinastih goriv s čistim kisikom (plamensko varjenje) ali redoks reakcije med kovinskimi oksidi in čistimi kovinami (metalotermija, alumotermično varjenje).

3.1. Obločno varjenje

3.1.1 Električni oblok med dvema varjencema

Eden od varjencev je podlaga, drugi pa je običajno kak čep, vijak ali podobno, vpet v držalo. Z vzmetjo ali pnevmatično vzpostavimo za trenutek kratek stik med čepom in podlago, ob odmiku pa se vžge kratkotrajni oblok. Konec čepa je obdan s keramičnim obročkom, ki nekoliko zaščiti oblok in oblikuje zvar, ki nastane po pritisku čepa na podlago, ko se je zadosti natalila. Varilni čas ne presega 1 sekunde. Izvor toka je rotacijski agregat ali usmernik (slika 9). Privarjanje jeklenih čepov je znano kot postopek *Cyc-arc*, če je konec čepa prevlečen z aluminijem, in postopek Nelson ter Philips, če je na koncu čepa pod pokrovčkom vstavljeno talilo.

Razmerje med debelino podlage in premerom čepa je lahko do 1 : 4. Uporaba: za privarjanje čepov, vijakov in podobno na jeklene stene v ladjedelništvu, kotlov, izmenjalnikov toplote in podobno. (*Cyc-arc* - za čepa debeline do 20 mm.)



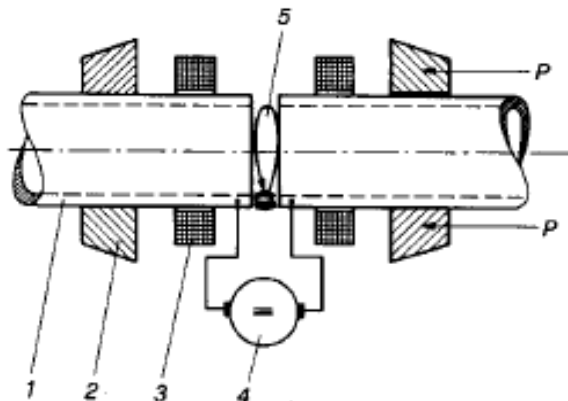
Slika 9.

Obločno varjenje čepov (1 - podlaga, 2 - čep, 3 - varilna pištola, 4 - stikalo, 5 - glavno stikalo, 6 - izvor toka)

Varjenje Z magnetno rotirajočim oblakom je osnovano na pojavu, da lahko z vrtečim se magnetnim poljem spravimo tudi električni oblak v rotacijsko gibanje. Na sliki 11 je prikazan princip tega varilskega postopka. Oblak se zaradi magnetnega polja v zvarni špranji vrti. Zvarni rob se hitro ogreje in natali in zvar nastane s stiskam obeh varjenecv, ob izključenem izvoru varilnega toka.

V prvi fazi razvoja je bil ta način namenjen za zvarjanje cevi manjših premerov, kasneje se je razširil tudi na zvarjanje odprtih profilov. Postopek se uporablja predvsem za jeklo.

Zvarna špranja je približno 1,5 mm, čas zvarjanja samo nekaj sekund, pritisk stiskanja varjenecv je 60 do 80 N/mm² in možne debeline stene cevi do 10 mm.



Slika 11. Princip varjenja z magnetno rotirajočim oblakom:

1 varjenec, 2 vpenjalne čeljusti, 3 magnetni tuljavi, 4 obločni varilnik, 5 rotirajoči oblak, P pritiska sila

3.1.2 Odkriti oblok med elektrodo in varjencem

Pri vseh teh načinih gori oblok med taljivo ali netaljivo elektrodo in varjencem. Oblika elektrod: brezkončna žica ali pa na določeno dolžino narezane krajše elektrode. Oblok gori v zraku ali v raznih zaščitnih atmosferah.

Pri ročnem obločnem varjenju so elektrode lahko gole (za navarjanje), strženske ali oplaščene. Oplaščenje je lahko: tanko, $(D/d) < 1,2$ (D ... premer elektrode čez oplaščenje, d ... premer elektrode žice), srednje debelo, $(D/d) = 1,2 \dots 1,4$ in debelo $(D/d) > > 1,4$. Oplaščenje ima več namenov: izboljšana ionizacija (lažje vžiganje in stabilnejši oblok), zaščita raztaljene kovine pred kisikom s plini in žlindro, metalurški vplivi na kovinsko talino (pomirjanje, dezoksidacija, odžveplanje, legiranje), počasnejše ohlajanje kovinske taline, oblikovanje temena zvara.

Po sestavi oplaščenja so elektrode lahko oplaščene:

- kisló - označba (A),
- bazično (B),
- celulozno (C),
- ruti Ino (R)

Elektrode so razvrščene v več skupin (glej EN 499). V standardu je določen tudi način preskušanja elektrod, Varilne pogoje za posamezne vrste elektrod predpisuje običajno proizvajalec.

Primer označevanja po EN499:

1	2	3	4	5	6	7	8
E	46	3	1Ni	B	5	4	H5

Razlaga EN 499 - 1995

Oznaka	Trdnost N/mm ²	Meja tečenja min. N/mm ²	Raztezek min. %	Oznaka	Pozicije varjenja
35	440-570	355	22	1	vse pozicije
38	470-600	380	20	2	vse pozicije razen od zgoraj navzdol
42	500-640	420	20	3	horizontalno varjenje kotnih in sočelnih spojev, horizontalno-vertikalno kotno varjenje
46	530-680	460	20	4	horizontalno varjenje kotnih in sočelnih spojev
50	560-720	500	18	5	varjenje od zgoraj navzdol in v pozicijah v skladu z oznako 3

Oznaka	Izkoristek %	Vrsta toka
1	< 105	izmenični in enosmerni
2	< 105	enosmerni
3	> 105 ≤ 125	izmenični in enosmerni
4	> 105 ≤ 125	enosmerni
5	> 125 ≤ 160	izmenični in enosmerni
6	> 125 ≤ 160	enosmerni
7	> 160	izmenični in enosmerni
8	> 160	enosmerni

E
↓
Oplaščene elektrode za ročno obločno varjenje

46

3

Oznaka	Tip plašča
A	kiseli
B	bazični
C	celulozni
R	rutilski
RR	rutilski (debelo oplaščeni)
RC	rutilsko-celulozni
RA	rutilsko-kislinski
RB	rutilsko-bazični

Oznaka	max. vsebnost vodika v varu v ml/100 g
H5	5
H10	10
H15	15

B
↓

5

4

H5
↓

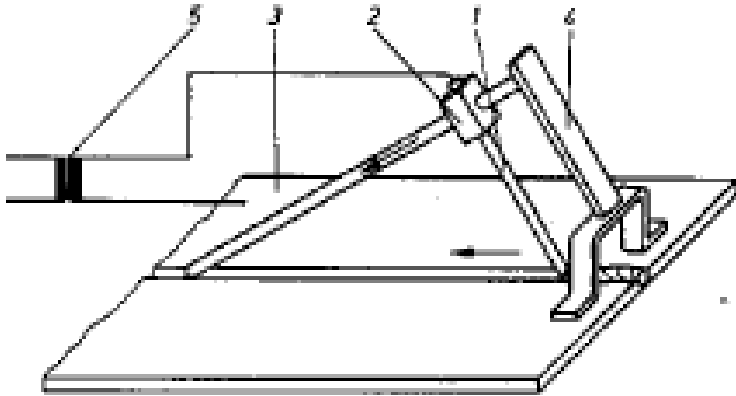
Oznaka	Žilavost Charpy-V min. 47 J pri temperaturi v°C
Z	ni zahtev
A	+ 20
0	0
2	- 20
3	- 30
4	- 40
5	- 50
6	- 60

Oznaka	Kemična sestava *		
	Mn	Mo	Ni
brez oznake	2.0	-	-
Mo	1.4	0.3 - 0.6	-
MnMo	> 1.4 - 2.0	0.3 - 0.6	-
1Ni	1.4	-	0.6 - 1.2
2Ni	1.4	-	1.8 - 2.6
3Ni	1.4	-	> 2.6 - 3.8
Mn1Ni	> 1.4 - 2.0	-	0.6 - 1.2
1NiMo	1.4	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2
Z	katerakoli dogovorjena sestava		

* če ni drugače določeno: Mo<0.2, Ni<0.3, Cr<0.2, V<0.05, Nb<0.05, Cu<0.3.
Ena sama številka v tabeli pomeni maksimalno vrednost

Gravitacijsko varjenje

je polavtomatski način varjenja z oplaščenimi elektrodami (slika 12). Uporabno je samo za varjenje v vodoravni legi. Elektrode so vedno daljše kakor za ročno varjenje. En varilec lahko dela s tremi ali tudi z več napravami. Postopek je vpeljan predvsem v ladjedelnicah.






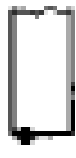
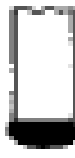

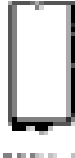
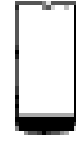

Slika 12. Shema gravitacijskega varjenja

(1 - elektroda, 2 - drsnik, 3 - varjenec, 4 - stojalo 1: vodi- lom, 5 - varilni transformator)

Pri postopku TIG gori oblok med elektrodo iz volframa in varjencem v zaščitni atmosferi inertnega plina. Elektroda je iz čistega volframa ali z dodatkom torijevega oksida. Varjenje poteka brez dodajnega materiala ali pa dodajamo material (ročno ali avtomatsko) v obliki varilne žice.

Normalno uporabljamo za varjenje enosmerni tok, z elektrodo, vezano na (-) pol. Kovine, katerih oksidi imajo visoko tališče (Al in Al zlitine), je treba variti z (-) polom na osnovnem materialu (čistilni učinek elektronov, ki izstopajo iz materiala), ali še bolje, z izmeničnim tokom (manjša obraba elektrode zaradi nižje temperature).

Vžiganje obloka je možno s kratkim stikom (pri varjenju jekel, bakra in njegovih zlitin) ali z dodatno visokofrekvenčno napetostjo brez dotika. Konica elektrode se v odvisnosti od vrste toka in obtežbe izoblikuje na karakterističen način (možnost sklepanja na pravilne varilne parametre, slika 13).

Vrsta toka	Volframova elektroda	Tok		
		preizkus	preizkus	preizkus
~	torijev			
~	čista			
~	torijev			

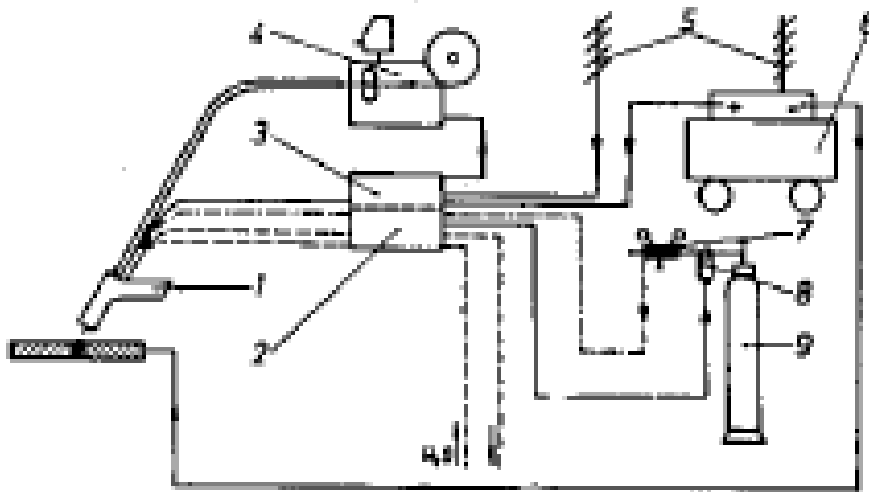
Slika 13. Oblika elektrodne konice pri postopku TIG

Postopek TIG je uporaben za vse kovine in zlitine, vendar je iz ekonomičnih vidikov za nelegirana jekla neprimeren. Predvsem pride v poštev za varjenje manjših debelin (tanki pločevini in cevi).

Postopek MIG (Metal-inert-gas) in postopek MAG. (Metal-activ- gas) sta na

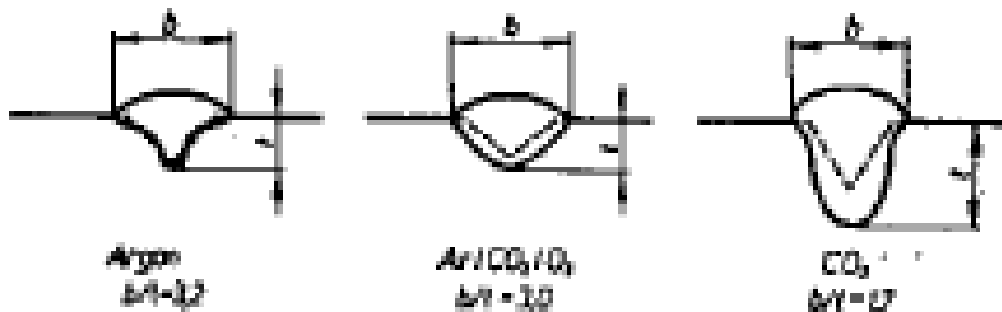
ina varjenja z odkritim oblokom, ki gori med kovinsko elektrodo, ki se porablja in varjencem (sl, 15). Elektroda Je brezkon

na žica, oblok pa je zaščiten z inertnim plinom (MIG) ali večatomarnim aktivnim plinom (MAG). Vrste zaščitnih plinov so podane v razpredelnicih 16 in 17 (za primerjavo tudi lastnosti zraka, dušika in vodika). Kot aktivni plin uporabljamo tudi plinske mešanice: Ar + O₂, Ar + CO₂, CO₂ + O₂ ali Ar + CO₂ + O₂. Vsaka izmed zaščitnih atmosfer vpliva drugače na varilne pogoje.



Slika 15. Shema naprave za postopek MIG ali MAG

(1 - varilna pištola, 2 - krmilna omarica z ventili, 3 - stikalna omarica, 4 - pogon za elektrodo, 5 - dovod energije, 6 - anilnik, 7 - pretočno kazalo, 8 - predgrevalnik plina, 9 - Jeklenka)



Slika 17. Oblika vara v odvisnosti od zaščitnega plina

Dodajni material (elektroda) pri postopkih MIG in MAG mora biti vedno prilagojen osnovnemu materialu in vrsti zaščitne atmosfere. Pri tem ima oblok v odvisnosti od varilnih parametrov razne oblike: jakotočni, dolgi, kratki, pulzirajoči.

Aktivni plin CO₂ se zaradi visoke temperature v obloku disocira po enačbi:

$$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O} - Q$$

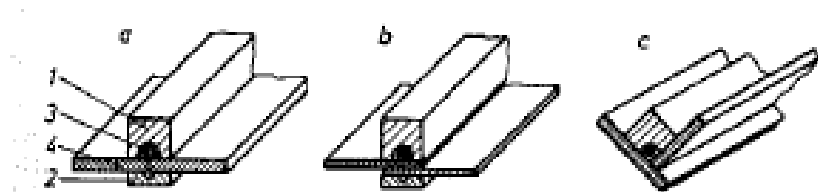
V nastalem kisiku lahko odgorevajo legirni elementi iz dodatnega materiala.

Iz začetnega normalnega postopka MIG in predvsem MAG so se glede na prehod kapljic v obloku, obliko dodatnega materiala, varilne parametre in način dela razvile razne tehnike varjenja.

3.1.3 Varjenje z zakritim oblokom

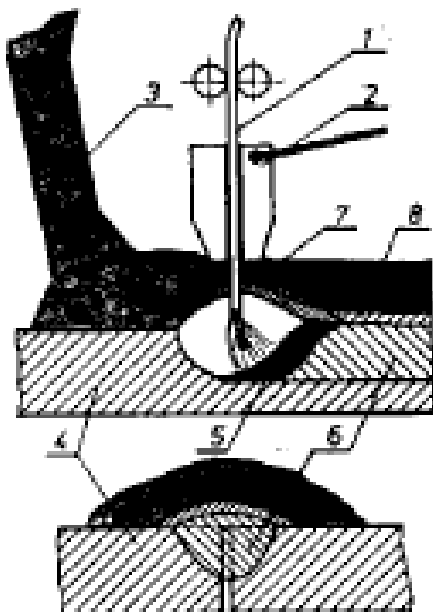
Pri teh načinih varjenja gori oblok zakrit in varilec ni izpostavljen sevanju. Tudi izkoristek toplote je ugodnejši - zaradi sevanja so izgube manjše.

Pri varjenju pod letvo (postopek Elin-Hafergut) (slika 18) je oplašena elektroda položena na zvarni rob in pokrita z bakrene ožlebljeno letvo. Oblok se vžge med elektrodo in varjencem in celotna dolžina zvara se zavari samodejno. Neugodno: potrebne so oplašene elektrode nenormalnih dolžin. Uporaba: za tanke jeklene pločevine in samo za ravne zve. Postopek se ni močneje uveljavil v proizvodnji.



Slika 18. Varjenje pod letvo (1 - letva, 2 - podloga, 3 - elektroda, 4 - varjenec)

Pri varjenju pod praškom dovaja pogonski mehanizem golo elektrodo v obliki brezkončne žice na varilno mesto. Električni oblok gori zakrit s praškom, ki se postopno nasipa na zvarni rob. Prašek se delno raztali v žlindro, ki pokriva, ščiti in oblikuje teme zvara (slika 19).



Slika 19. Varjenje pod praškom

(1 - elektroda, 2 - dovod varilnega toka, 3 - dovod praška, 4 - varjenec, 5 - kovinska talina, 6 - var, 7 - raztali prašek, 8 - ohlajena žlindra)

Dodajni material je gola elektroda, ki mora biti po sestavi prilagojena osnovnemu materialu in prašku. Za vsako kombinacijo elektroda - prašek so potrebni pravilni varilni parametri. Premeri elektrode: 1,6, 2,4, 3,2, 4,0, 5,0 mm. V dodatnih materialih za varjenje konstrukcijskih jekel je najvažnejša vsebina mangana v žici in prašku (žica z veliko mangana

Mn > 2,0 %, prašek z veliko mangana MnO > 15 %, žica z malo mangana Mn < 1,2%, prašek z malo mangana MnO < 5 %).

Po načinu izdelave so praški lahko: taljeni (pri temperaturah 1250 do 15000C), sintrani (1050 do 12000C) in aglomerirani (temperatura sušenja 400 do 600 °C). Taljeni so malo reaktivni (sestavne komponente že reagirale pri izdelavi).

Za povečanje storilnosti: varjenje z dodatno »hladno- žico (dovajamo jo od strani v oblok), z vstavljanjem žice v zvarno špranjo ali z nasipanjem sekance (na 2 do 3 mm dolge kose nasekana žica) v zvarni žleb ostane talina hladnejša.

Pri varjenju z dvema elektrodama, postavljenima zaporedno, se poveča do 100 % hitrost varjenja, obenem (ob slabi pripravi zvarnega roba) se poveča storilnost. Varjenje z dvema elektrodama, vezanima zaporedno (osnovni material brez električnega priključka) daje pri navarjanju zelo plitev uvar.

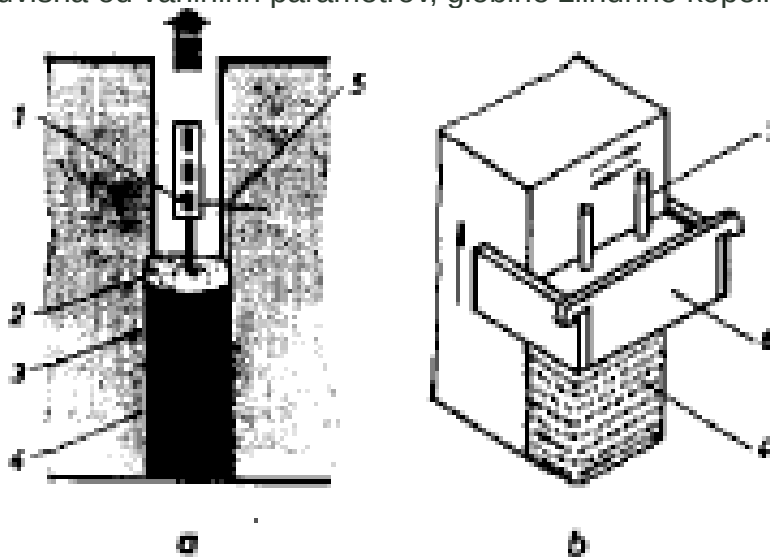
3.2. Varjenje pod žlindro

To je uporovno-talilno varjenje z električno energijo. Način varjenja je podan na sliki 20. primerni podajalni mehanizem dovaja elektrodo v zvarni žleb navpi

no postavljenega varjenca. V začetku se prižge električni oblok, ko se prašek raztali, nastane nad raztaljeno kovino mo

no pregreta, prevodna žlindra. Elektroda se zaradi jouske toplote, ki se sprošča v žlindri ($Q \geq U \cdot I \cdot t$ [J]), tali in zapolnjuje zvarno špranjo. Osnovni material se v stiku z raztaljeno žlindro tudi nataljuje In nastaja potrebni uvar. Možno je tudi navarjanje.

Pri večji debelini varjenca je potrebnih več elektrod in nihanje v prečni smeri na zvar, da je ogretje enakomernejše. Usmerjenost kristalov v varu je radialna do radialno-aksialna in je odvisna od varilnih parametrov, globine žlindrine kopeli in hitrosti kristalizacije.

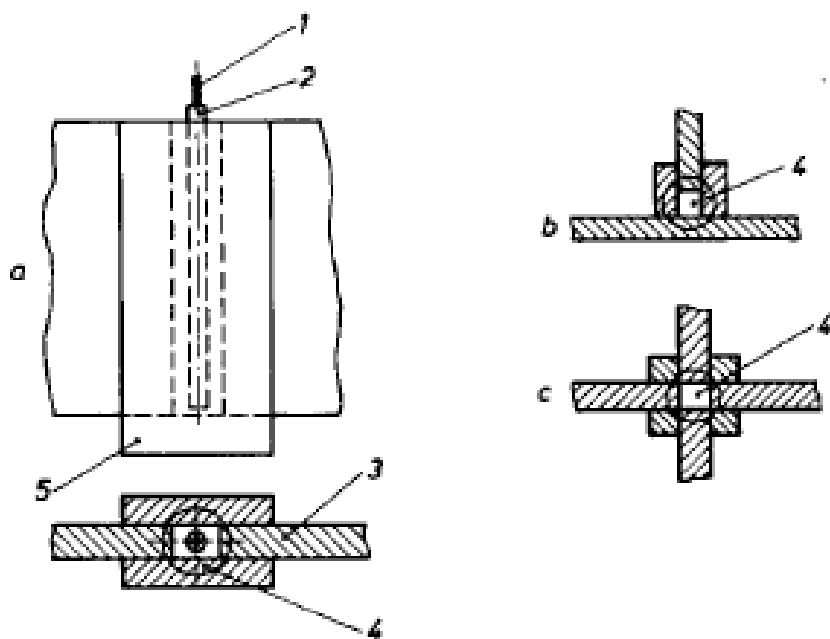


Slika 20. **a - varjenje** in **b - navarjanje pod žlindro** (1 - elektroda z vodilom, 2 - talina žlindre, 3 - talina kovine, 4 - var [navarl. 5- uvar, 6 - kokila)

Elektrode so v obliki žice (premera do 4 mm), za navarjanje tudi v obliki traku, včasih tudi debelejših profilov.. Praški za nastanek žlindre so sestavljeni podobno kot oplaščenja na elektrodah in praški za varjenje pod praškom.

Uporabnost varjenja pod žlindro je omejena samo na varjenje; debelejših materialov (od 15 mm navzgor) v navpični legi. Zaradi počasnejšega ohlajanja je možno variti tudi jekla z nekoliko večjim % ogljika brez predgrevanja. Posebno ugoden je ta način za varjenje debelostenskih tlačnih posod (za. vzdolžne in krožne zware), npr. za jedrske elektrarne. Primeren Je tudi za jekla s povečano trdnostjo.

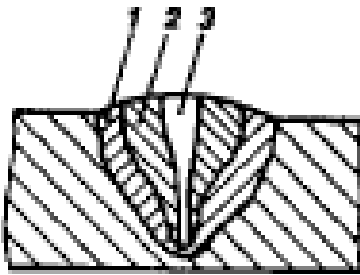
Kanalsko varjenje je poseben način varjenja pod žlindro, pri katerem se uporabljajo vodila za elektrode iz istovrstnega materiala, kot je varjenec, in elektroda, ki so po celi dolžini vstavljeni navpično v zvarni žleb (izolirano od varjenca) in se odtaljujejo skupaj z elektrodo, skladno z napredovanjem varjenja (navpično). Shema postopka in primeri zvarnih spojev so na sliki 21.



Slika 21. **Kanalsko varjenje**: a shema zvarjanj a, b spoj T, c križni spoj. 1 elektroda, 2 vodilo, 3 osnovni material (varjenec), 4 var, 5 talon (za začetek varjenja)

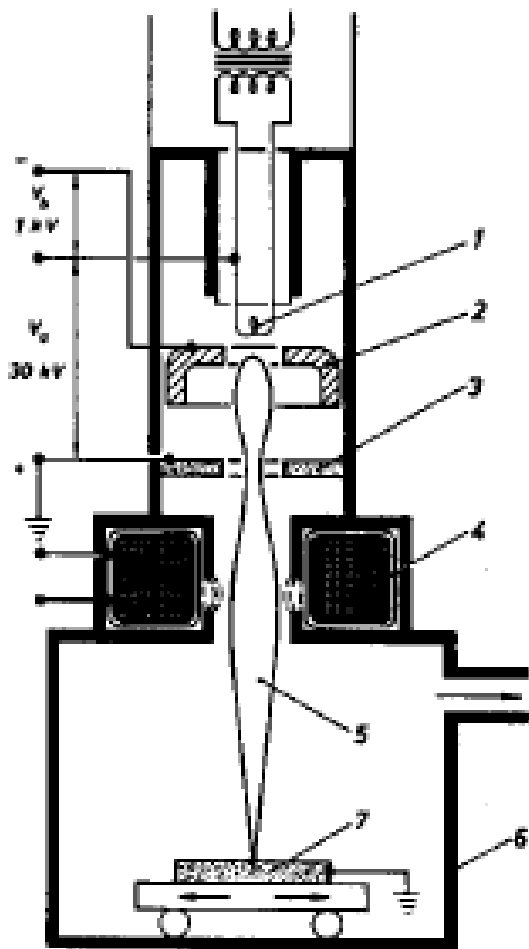
3.3. Varjenje z elektronskim snopom v vakuumu

Zelo zgoščen. snop elektronov, ki se z veliko hitrostjo giblje skozi vakuum, ima veliko energijo ($E = mv^2/2$, $m_e = 9,11 \cdot 10^{-28}$ g, hitrost v se približuje svetlobni hitrosti), ki se ob udarcu ob trdno materijo (varjenec) spremeni v toploto. Čeprav elektroni ne prodrejo globoko v kovinsko površino ($R = 2,2 \cdot 10^{-12} \cdot U^2/\rho$, R - globina prodiranja elektronov [cm], U - pospeševalna napetost [V], ρ - gostota materiala), nastane zaradi odtrganja nastajajoče taline zelo ozek in vedno globlji, pretaljen žleb. Razmerje med širino zvara in globino uvara je do 1 : 20 (slika 22). Na sliki 23 je prikazan princip elektronske puške in komore za varjenje z elektronskim snopom.



Slika 22. Primerjava med oblikami varov:

1 - pri postopku TIG, 2 - s plazmo, 3 - z elektronskim snopom



Slika 23. **Shema naprave za varjenje z elektronskim snopom v vakuumu** (1 - katoda, 2 - Wehneltova elektroda, 3- anoda, 4 - elektromagnetna leča 5 - elektronski snop, 6 - vakuumska komora, 7 - pozicioner z varjencem)

Naprave lahko delujejo z visokim vakuumom 0,01 do 0,001 srednjim 1 do 0,1 ali nizkim vakuumom nad 10 N/m². Lahko pa se elektronski snop vodi tudi skozi normalni zračni tlak. Pri tem se močno zmanjša prodornost.

Postopek je važen predvsem za .takšne materiale, ki na zraku močno oksidirajo, ali pa so občutljivi na pregretje v prehodnih conah. Ugodno je varjenje manjših delov (namestitev v vakuumski komori) iz močno legiranih jekel, raznih zlitin er, Ti, Ni, Zr, Mo, Be, Al, Mg, za letalstvo, kozmonavtiko, atomsko industrijo in podobno. Možno je tudi zvarjanje raznih kovin med seboj - neposredno, ali z vstavljanjem tretje kovine, kot vmesne folije v zvarni stik, npr.: Cu zvarjen z Al, vmesna folija Sn ali Zn; jeklo zvarjeno z Mo, vmesna folija Ni; Ni zvarjen z Ta, vmesna folija Pt.

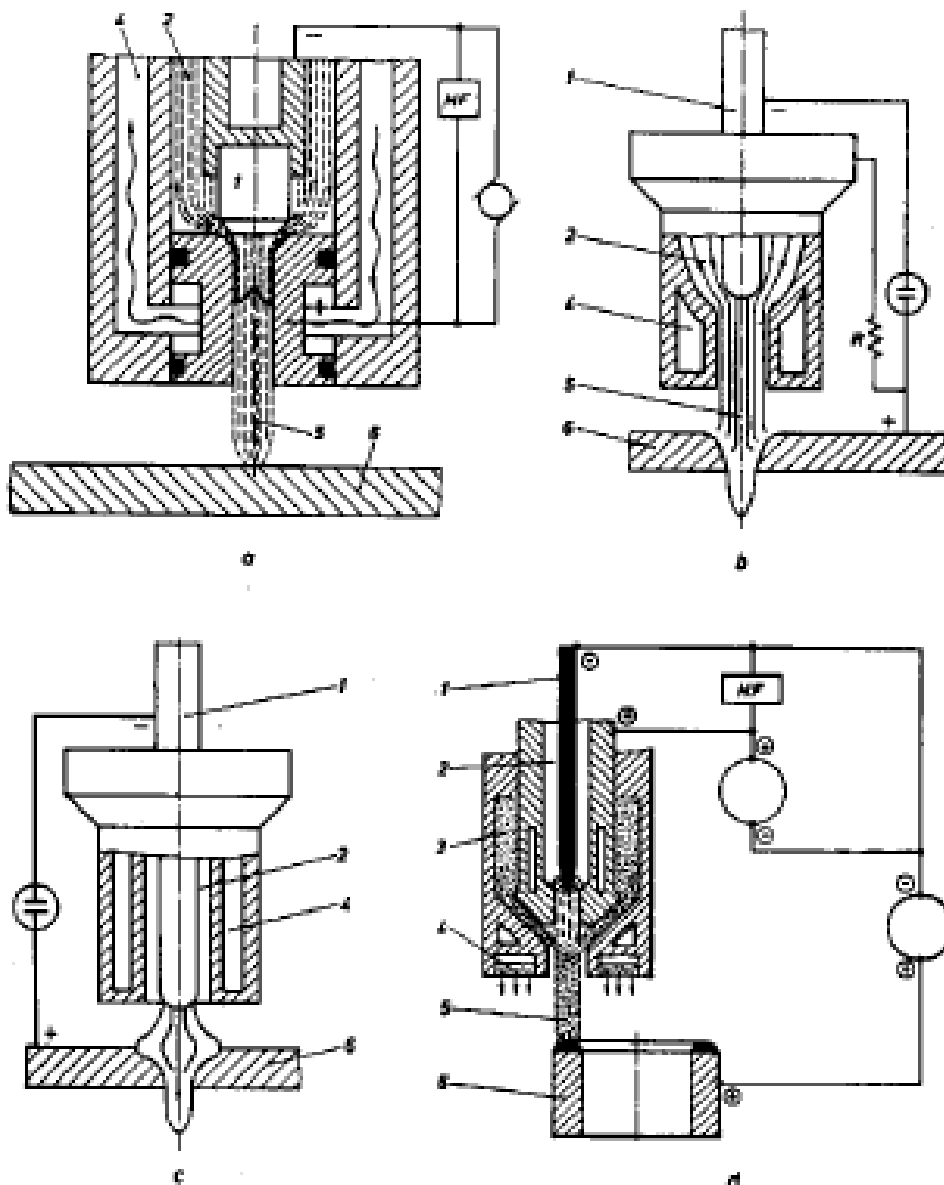
Možno je tudi zvarjanje kovin ali zlitin z nekovinami.

3.4. Plazemska tehnika

Termična plazma je disociiran in močno ioniziran plin, ki vsebuje veliko energijo. Ta lahko ob stiku s hladno površino kovine (obrnjene disociacijske reakcije) ogreva pri navarjanju ali zvarjanju zelo tankih (mikroplazemsko varjenje) ali debelih materialov, pri rezanju ali nabrizgavanju kovin.

Slika 24 prikazuje shemo gorilnikov in vezavo tokokrogov:

- a - gorilnik z neprenešenim oblokom (za nabrizgavanje kovin),
- b - gorilnik s prenešenim oblokom (za zvarjanje in rezanje),
- c - gorilnik za postopek TIG (za primerjavo),
- d - gorilnik s prenešenim in neprenešenim oblokom (za navarjanje).



Slika 24. Shematični prikaz plazemskih gorilnikov

(1 - volframska elektroda, 2 - zaščitni plin za plazmo, 3 - sekundarni plin, 4 - vodno hlajenje, 5 - plazemski oblok, 6 - varjenec)

Pri **navarjanju s plazmo** dodajni material dovajamo s sekundarnim zaščitnim plinom in se tali v neprenešenem obloku, površina varjenca se natali s prenešenim oblokorn. Dodajni materiali so čiste kovine ali mešanice s karbidi, boridi, nitridi in drugimi spojinami, ki povečajo trdoto ali obstojnost proti koroziji, visokim temperaturam idr.

Zvarjanje s plazmo je pri zelo tankem osnovnem materialu (mikroplazma, debelina < 0,8 mm) možno brez dodajnega materiala. Zvar, narejen s plazmo, ima značilno obliko keliha (slika 22).

Rezanje s plazmo poteka z močno zoženim plazemskim oblokom, ki se giblje skozi šobo s približno hitrostjo zvoka. Jedro je ogreto nad 12000 K, gostota energije je okrog 500 kW/cm². Material se pod vplivom plazemskega obloka na ozko omejenem območju zelo hitro tali in odteka iz špranje.

Postopek je uporaben za vse kovine raznih debelin.

3.4. Varjenje z laserjem

Varjenje z laserjem je talilno varjenje, kjer se uporablja kot izvor toplote monokromatski, koherentni snop polariziranega valovanja, ki je z lečami in zrcali ostro fokusiran. Za taljenje potrebna toplota se sprošča po absorpciji laserskih valov v materialu. Za oddajanje laserskega valovanja je treba prevesti ione v nekaterih kristalnih mrežah ali atome v primernem plinu oziroma mešanici plinov na povišan energetski nivo z elektromagnetnim obsevanjem. Ob stimuliranem vračanju teh delcev na osnovni nivo pride do oddajanja energetsko močnega koherentnega sevanja.

Glede na agregatno stanje aktivnega medija obstajajo kristalni (rubinski, YAG in drugi) ali plinski (CO_2 , Ar, He-Ne, $\text{N}_2\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ in drugi) laserji. Na mestu, kjer udari laserski žarek ob površino varjenca, pride do tako močne absorpcije energije, da material izpareva, kar je ugodno za rezanje in vrtanje lukenj. Za zvarjanje pa so potrebni takšni pogoji, da je izparevanje materije čim manjše in se material tali na čim ožjem področju. Dovod energije je velikostnega reda 10^9 W/cm^2 .

Laserje z močjo 0,5 do 2 kW uporabljajo za točkovno varjenje v mikroelektroniki, za soležno in kotno zvarjanje zelo tankih pločevin, ob uporabi večjih moči (do 20 kW in več pri plinskih laserjih) tudi za zvarjanje večjih debelin. Material ni izpostavljen skoraj nikakršni mehanski obtežbi, kar omogoča rezanje zelo majhnih debelin. Razen kovine je možno z laserjem rezati tudi nekovine.