

STROJARSKA TEHNIČKA ŠKOLA OSIJEK

ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE

Ivan Adrić, dipl.ing.

Osijek, 2017.

S A D R Ź A J

1. Opasnosti i zaštitna sredstva pri elektrolučnom zavarivanju	3
2. Uvod u elektrolučno zavarivanje.....	5
3. Izvori struje za zavarivanje	6
4. Elektrode	8
5. Nekoliko vježbi za zaveivače početnike.....	10
6. Postupci elektrolučnog zavarivanja.....	15
7. REL postupak zavarivanja	17
8. MIG/MAG postupak zavarivanja	19
9. Parametri zavarivanja MIG/MAG postupkom	22
10. Neke tipične greške pri zavarivanju MIG/MAG postupkom	25
11. MAG – elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom aktivnog plina	26
12. MIG – elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina	28
13. EP – elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška	29
14. TIG – elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina	32

1. Opasnosti i zaštitna sredstva pri elektrolučnom zavarivanju

Za vrijeme zavarivanja, zavarivaču prijete opasnosti od električne struje i od električnog luka (visoka temperatura i rastaljeni metal koji prska, ultracrvene i ultraljubičaste zrake i visoko koncentrirano svjetlo električnog luka).

Prolaz električne struje kroz ljudsko tijelo naziva se strujnim udarom. Posljedice strujnog udara su:

- poremećaji rada srca,
- grčenje grudnih mišića koji omogućavaju disanje,
- sprečavanje rada srca,
- unutrašnja krvarenja,
- površinske opekotine.

Veličina strujnog udara, a time i veličina povreda koje nastaju zbog djelovanja električne struje, ovise o:

- vrsti, jakosti i naponu struje,
- vremenu prolaza struje kroz tijelo,
- vlažnosti tijela,
- tjelesnoj konstrukciji čovjeka,
- dodirnoj površini između vodiča i čovjeka,
- tlaku kojim se pritišće vodič,
- mjestu ulaza i mjestu izlaza struje iz tijela.

Izmjenična struja je opasnija od istosmjerne, jer se čovjek teže oslobađa strujnog kruga izmjenične nego istosmjerne struje. Ona može biti smrtonosna iznad 40 V, a istosmjerna iznad 60 V. Ako je jakost struje veća, veći je i strujni udar. Pri većem naponu bit će veći i strujni udar.

Ako struja duže vrijeme prolazi kroz tijelo, strujni udar će biti veći. Ako je vlažnost tijela veća, biti će veći i strujni udar. Naročito je opasno ako je tijelo čovjeka vlažno od znoja.

Različiti ljudi su različito osjetljivi na strujni udar, ovisno o tjelesnoj kondiciji. To znači da uz ostale jednake uvjeta strujni udar neće biti jednak za dva različita čovjeka.

Ako je dodirna površina između vodiča i čovjeka veća, bit će i veći strujni udar. Jednako djeluje i tlak kojim se pritišće vodič.

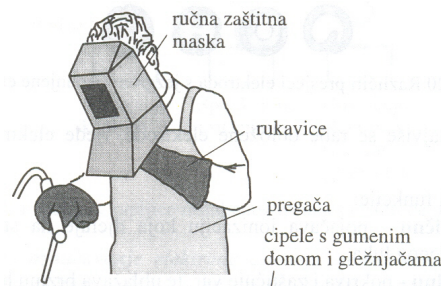
Različiti dijelovi tijela pružaju različiti otpor. Ako je otpor veći, strujni udar će biti manji. Manji otpor pružaju osjetljiviji dijelovi tijela.

U električnom luku pojavljuju se tri vrste zračenja:

1. Infracrvene zrake osjećamo kao toplinu. One mogu izazvati oštećenje leće oka pri dugotrajnom izlaganju (15 do 20 godina)
2. Svjetlosne zrake mogu izazvati prolaznu zaslijepljenost.
3. Ultraljubičasto zračenje je najopasnije i ono izaziva upalu rožnjače oka. Do upale dolazi kad se izravno gleda u električni luk ili kad se zrake odbijaju od nekog glatkog predmeta. S povećanjem udaljenosti od električnog luka opasnost od upale se smanjuje, jer se intenzitet zračenja smanjuje. Znakovi upale pojavljuju se nekoliko sati nakon izlaganja zračenju. Ultraljubičaste zrake, osim upale rožnjače, mogu prouzrokovati i opekotine po tijelu, ako zaštita nije dovoljna. Kod dužeg izlaganja nezaštićenog tijela djelovanju tih zraka mogu nastati otvorene rane. Oštećenja oka, kao i opekotine po tijelu, mogu nastati i zbog rasprskavanja materijala za vrijeme zavarivanja, ili pri skidanju troske nakon zavarivanja.

U zaštitna sredstva zavarivača spada slijedeća oprema:

- odijelo,
- kecelja,
- potkoljenice,
- zaštitna maska,
- rukavice i nadlaktice,
- čizme ili cipele,
- respiratori, kapa



Slika 1. Zaštitna sredstva

Svi otvoreni dijelovi kože moraju se pokriti da bi se izbjeglo djelovanje ultraljubičastih zraka na kožu. Odijelo treba štititi zavarivača od toplinskog i ultraljubičastog zračenja, te od kapljica rastaljenog metala i troske. Obično je odijelo kožno, a u nekim slučajevima i azbesno.

Kecelja zaštićuje prednji dio tijela od ultraljubičastog i infracrvenog zračenja, te od kapljica rastaljenog metala i troske. Ona je standardizirana.

Potkoljenice služe kao zaštitno sredstvo od kapljica rastaljenog metala, i one su standardizirane.

Rukavice su izrađene od kože, prema standardu. Zaštićuju ruke zavarivača od povreda. Nadlaktice zaštićuju ruke iznad laktova od djelovanja vrućih kapljica pri nadglavnom zavarivanju.

Zaštitna maska zaštićuje oči, glavu i vrat od povreda za vrijeme zavarivanja. Izrađena je prema standardu. Može biti nadglavna i ručna, a izrađena je od materijala koji je toplinski i električni izolator. Zacrnjeno staklo je također određeno standardom.

Cipele su sa gumenim đonom, izrađene prema standardu, i štite noge od kapljica rastaljenog metala te izoliraju zavarivača od podloge.

Respiratori služe za zaštitu dišnih organa. Upotrebljavaju se kad se ventilacijom ne može postići odgovarajuća čistoća atmosfere.

Nekoliko općih uputa zavarivačima

- Provjerite da li ste upotrijebili sva zaštitna sredstva, te da li se pridržavate propisanih zaštitnih mjera. Svi dijelovi tijela moraju biti dobro zaštićeni da ne bi došlo do opekotina zbog djelovanja električnog luka ili prskanja materijala.
- Nemojte zavarivati oštećenim i vlažnim rukavicama. Izmjenična struja može biti smrtonosna iznad 40 V, a istosmjerna iznad 60 V. Napon praznog hoda transformatora kreće se od 40 do 100 V i može biti smrtonosan.
- Ako stojite na konstrukciji koju zavarujete, obavezno upotrijebite izolacijsku podlogu.
- Stakla na maski moraju biti ispravna i dobro očišćena. Ako je potrebno, bijelo staklo zamijenite, a crno očistite.
- Ako zavarujete u zatvorenoj prostoriji, provjerite da li su i ostali prisutni radnici zaštićeni. Radna mjesta moraju biti odvojena paravanima.
- Provjerite da li je izvor struje ispravan. Provjerite da li je dobro namještena jakost struje i polaritet. O određivanju polariteta pogledajte upute proizvođača elektroda.
- Provjerite da li je priključak na masu dobro pričvršćen i da li je osnovni materijal na mjestu priključka dobro očišćen.
- Kliješta držača elektrode moraju se lako otvarati i zatvarati i moraju čvrsto prihvaćati elektrodu.
- Kabeli moraju biti dovoljnog presjeka. U kablovima malog presjeka dolazi do gubitka električne energije. Do gubitka električne energije dolazi i kad su kablovi suviše dugački.
- Uza se imajte dovoljnu količinu elektroda. Ako su elektrode vlažne, treba ih sušiti na 150 do 250 °C 1 do 3 sata.
- Vrući osnovni materijal nemojte okretati ako imate samo zaštitne rukavice. Upotrijebite kliješta, jer time sprječavate pojavu opekotina na rukama i ne uništavate zaštitne rukavice.

Napuci za pravilan rad pri elektrolučnom zavarivanju

- Pretvarač daje istosmjernu struju, a transformator izmjeničnu. Rukuj s transformatorom oprezno jer je izmjenična struja opasnija od istosmjerne.
- Kada premještaš ili pomičeš ispravljač – isključi ga iz mreže.
- Koristi masku za zavarivanje koja osigurava zaštitu i bočno, jer su zrake opasne i kad dolaze u oko sa strane.
- Prije početka rada izoliraj svoje radno mjesto tako da štetno zračenje ne dolazi do ostalih radnika .
- Nikada ne zavaruj kada su kabeli oštećeni, jer izlažeš opasnosti sebe i svoje suradnike.

- Na svakom radnom mjestu treba sprovesti lokalnu ventilaciju.
- Prije početka rada provjeri je li aparat za elektrolučno zavarivanje pravilno uzemljen i kabeli neoštećeni.
- Šljaku valja odbijati tako da odlijeće u slobodan prostor ili prema zidu.

Mjere zaštite pri radu:

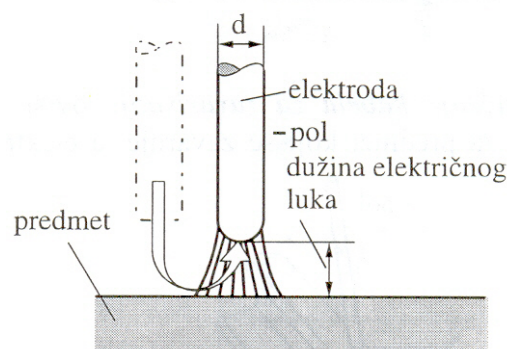
- Pri elektrolučnom zavarivanju uvijek se mora nositi zaštitna maska.
- Radno odijelo treba biti zakopčano, a preko njega mora biti kožna zaštitna pregača.
- Obavezno je koristiti zaštitne kožne rukavice, te cipele s gumenim đonom i gležnjače.
- Zavarene (vruće) predmeta valja premještati klijestima ili hvataljkama.
- Opasnosti kod elektralnog zavarivanja su:
 - štetno djelovanje električnog luka, usljed kojeg na nezaštićenim dijelovima kože nastaju opekline,
 - opekline nastale od rastaljenih čestica materijala,
 - opekline nastale dodiranjem s ugrijanim predmetima kod zavarivanja,
 - štetno djelovanje na dišne organe izazvano djelovanjem plinova nastalih izgaranjem obloge elektrode,
 - udar električne struje,
 - povreda šljakom koja se odbija.

Zapamti! Najbolja zaštita od nesreće je vlastita predostrožnost.

2. Elektrolučno zavarivanje – uvodne napomene

Čelik za konstrukcije se danas spaja zavarivanjem u 45% slučajeva, a od svih postupaka najviše su zastupljeni postupci elektrolučnog zavarivanja, čak 70%.

Pri elektrolučnom zavarivanju, za taljenje metala se koristi visoka temperatura, koja se razvija u električnom luku, a koji nastaje između metalne elektrode i metala koji se zavaruje. Luk nastaje tako da se dvije elektrode, svaka spojena s jednim polom električne struje, primaknu a zatim razmaknu. Dodirom ili struganjem elektrode po predmetu nastaje kratki spoj i iskrenje, a zatim zbog odmicanja elektrode i velikog otpora protjecanju struje nastaje visoka temperatura i električni luk. Usljed visoke temperature u električnom luku nastaje čitav niz fizikalno-kemijskih reakcija. Električni luk postoji dok je elektroda u određenoj (maloj) udaljenosti od predmeta, tj. potrebno je održavati pravu dužinu luka (ispod 2 mm). Električni luk može biti vidljiv, ali i pokriven zaštitnim sredstvom (zaštitni prašak)



Slika 2. Uspostavljanje električnog luka

Brzina kretanja elektrode ima veliki značaj pri elektrolučnom zavarivanju. Ako je brzina velika, osnovni materijal se ne zagrijava dovoljno te ostaje nerastaljen. Zavar je uzak i loše kvalitete jer ne dolazi do

čvrstog spoja osnovnog s dodatnim materijalom. Ako je brzina povlačenja elektrode premala nastaje širok i debeo zavar, mjesto zagrijavanja je pregrijano i pogoršava se struktura materijala, a na zavaru se stvaraju pukotine. Kod pravilne brzine povlačenja elektrode dodatni se materijal dobro spaja s osnovnim materijalom. Pravilnu brzinu vođenja elektrode zavarivač stječe vježbom i praksom.

Električna struja se proizvodi u generatorima, a može biti istosmjerna ili izmjenična. Za elektrolučno zavarivanje se koristi struja niskog napona (15-110 V), a velike jakosti (60- 300 A, a u naročitim slučajevima i do 1000 A). Zbog toga se struja iz gradske mreže, čiji je napon 220/380 V, transformira u struju nižeg napona i velike jakosti struje (amperaže).

Proces nastajanja zavarenog spoja sastoji se od tri faze:

1. Početak zavarivanja (uspostavljanje i podešavanje stabilnog održavanja luka);
2. Održavanje luka i njegovo pomjeranje duž zavarivanih krajeva;
3. Prekidanje zavarivanja.

Svaka od faza predviđa odvijanje (istovremeno ili u zadanom trenutku) niza operacija, kao što su:

- dovođenje elektrodi i zavarivanim krajevima napon zavarivanja,
- uspostavljanje zavarivačkog luka,
- zagrijavanje zavarivanih krajeva i dodatnog metala,
- dovođenje u zonu luka dodatnog metala brzinom koja je jednaka brzini njegova topljenja,
- zaštita zone zavarivanja od kontakta sa zrakom,
- pomjeranje luka duž zavarivanih krajeva,
- popunjavanje kratera na kraju šava i dr.

3. Izvori struje za zavarivanje

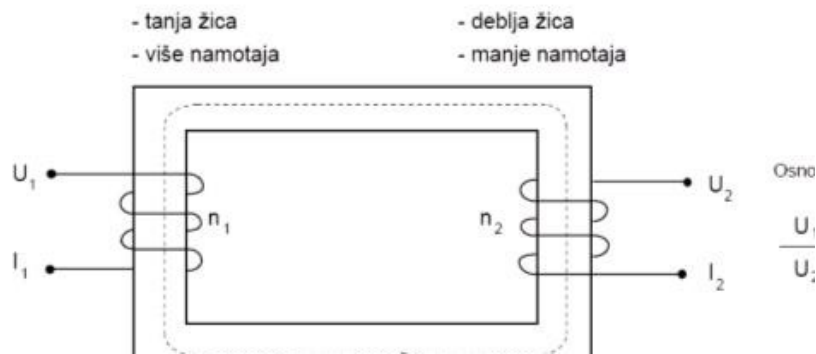
Izvori struje za zavarivanje su takvi električni uređaji koji daju na mjestu zavarivanja električnu struju sa karakteristikama pogodnim za zavarivanje. Kada su priključeni na električnu mrežu (trofaznu ili monofaznu) kaže se da su u praznom hodu (uređaj je pod naponom, spreman za rad, ali se još nije uspostavio električni luk). Napon praznog hoda mora biti dovoljan da se uspostavi električni luk, ali ne smije biti previsok da bi ugrozio čovjekov život (u nekim nepovoljnim slučajevima). Obično je napon praznog hoda kod ručnih uređaja oko 40 do 60 volti, a kod automatskih ne iznad 100 V (110 V).

Izvori struje za zavarivanje:

- Transformatori
- Ispravljači
- Rotacijski pretvarači
- Agregati
- Inverteri

Transformatori

Transformatori za zavarivanje su najprošireniji, najviše upotrebljavani izvori struje za zavarivanje koji izmjeničnu električnu struju transformiraju u također izmjeničnu struju sa karakteristikama pogodnim za zavarivanje. Rad transformatora se zasniva na principu elektromagnetske indukcije. Promjenom broja namotaja na primarnom i sekundarnom svitku može se dobiti željeni sekundarni napon i potrebna jakost struje za zavarivanje. Električna mreža napaja izmjeničnom strujom primarni namotaj. U sekundarnom namotaju se napon struje transformira na niži napon, ali se pri tome poveća jakost struje. Transformatori se koriste za REL postupak zavarivanja obloženom elektrodom, TIG postupak i postupak elektrolučno zavarivanja pod praškom. Transformatori za zavarivanje mogu biti pokretni i nepokretni.



Slika 3. Transformator

Ispravljači

- Izvedba ispravljača za zavarivanje: Transformator + ispravljački dio
- Ispravljači su takvi izvori struje za zavarivanje koji daju istosmjernu struju za zavarivanje sa karakteristikama pogodnim za zavarivanje. Uobičajeno se napajaju trofaznom izmjeničnom strujom. Nakon transformacije struje pomoću transformatora za zavarivanje, slijedi ispravljanje struje (poluvodičke diode, tiristori, tranzistori, ...)
- Ovisno o namjeni (koji postupak zavarivanja), statička karakteristika izvora struje može biti strma ili položena. Npr. Za poluautomatsko zavarivanje MAG – položena, za EP (do promjera žice za zavarivanje 3 mm) – položena, za EP (preko 3 mm promjer žice) – strma, ...

Prednost ispravljača nad transformatorima:

- daju stabilniji električni luk (nema promjena kretanja električnog luka 50 puta u sekundi)

Nedostaci u odnosu na transformatore:

- skuplji su od običnog transformatora,
- osjetljivi su na pad napona,
- imaju manji stupanj iskorištenja,

Rotacijski pretvarači

Rotacijski pretvarači su takvi izvori struje za zavarivanje koji struju iz električne mreže posredstvom elektromotora i generatora pretvaraju u struju vrlo dobrih karakteristika pogodnih za zavarivanje. Namjenjeni su za rad u terenskim uvjetima i na mjestima sa nestabilnom električnom mrežom (velike i česte oscilacije napona). Iako je to vrlo rijetko u praksi, iza generatora može slijediti ispravljački dio, pa se na mjestu zavarivanja može imati pored izmjenične i istosmjerna struja.

Prednost pretvarača pred ispravljačima je da lako transformiraju električnu struju napona 380 V na 50 V. Nedostatak je što su bučni u radu i imaju niži stupanj korisnog djelovanja. Cijena im je viša u odnosu na transformatore i ispravljače.

Agregati za zavarivanje

Agregati za zavarivanje neovisni su o električnoj mreži, tj. pogodni su za montažu. Pogone se od strane dizel ili benzinskog motora, a on pokreće generator koji daje struju karakteristika pogodnih za zavarivanje. Cijena im je značajno viša u odnosu na transformatore i ispravljače.

Invertori za zavarivanje

Invertori daju istosmjernu ili visokofrekventnu pulsirajuću struju. Pojavili su se na tržištu u relativno novije vrijeme i sve se više koriste u praksi zbog niza prednosti u odnosu na ostale izvore struje za zavarivanje. Pored toga što daju stabilnu karakteristiku električne struje za zavarivanje, prednosti im je izuzetno mala težina u odnosu na ostale izvore struje za zavarivanje. Ova ušteda u težini postignuta je smanjenjem dimenzija transformatora, koji je za frekvenciju mreže od 50 Hz masivan da se onemogućiti pretjerano zagrijavanje u radu. Inverter se sastoji od ispravljača koji daje istosmjernu struju napona gradske mreže, zatim tiristorskog dijela koji "sjecka" istosmjernu struju i daje impulse frekvencije čak do 50 kHz. Ovi visokofrekventni impulsi napona gradske mreže se zatim transformiraju na napon potreban u zavarivanju.

Zbog visoke frekvencije ne dolazi do zagrijavanja transformatora ("skin - efekt"). U sljedećem je koraku moguće te impulse stopiti da daju istosmjernu struju.

4. Elektrode

Pri elektrolučnom zavarivanju, pomoću elektroda uspostavljamo i održavamo električni luk, a usljed visoke temperature električnog luka elektroda se tali i stvara zavar. Dodirom radnog predmeta elektrodom pali se električni luk. Odmicanjem elektrode nastaje električni luk. Elektrode se spajaju na minus pol, a radni stol s predmetima na plus pol (samo u iznimnim slučajevima je obrnuto). Tako se dobije mnogo stabilniji električni luk. Kapljica rastaljenog metala uvijek prelazi s elektrode na predmet bez obzira na polaritet.

Funkcija elektrode:

1. vodič električne energije,
2. dodatni materijal (metalna jezgra),
3. zaštitna funkcija (obloga) – štiti električni luk i talinu od utjecaja zraka i oksidacije tako što se talina prekrije troskom i sprječava prodiranje zraka te usporava očvršćivanje taline tako da nečistoće i plinski uključci imaju vremena izaći na površinu taline.

Vrste elektroda:

1. Gole elektrode

- vrlo rijetko se koriste,
- to su metalne žice lijevane ili izrađene iz vučenog materijala,
- mogu biti i sa jezgrom koja je ispunjena nemetalnim materijalom

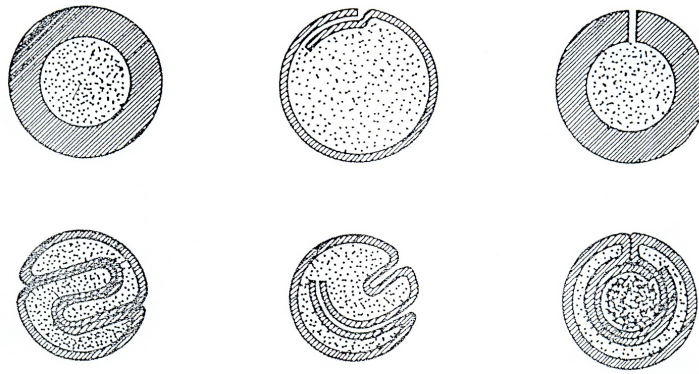
2. Obložene elektrode

- Sastoje se od metalne jezgre (žice) i obloge koja daje elektrodi potrebna svojstva. Pri zavarivanju prvo se topi jezgra.
- Materijal obloge elektrode tali se zajedno sa metalnom žicom i stvara trosku. Troska je lakša od čelika, pa pliva po zavaru i pokriva ga. Plinovi koji se oslobađaju pri taljenju obloge stvaraju zaštitni omotač oko mjesta zavarivanja i ne dozvoljavaju prilaz kisiku i dušiku iz zraka u talinu. Kisik bi uzokovao nečisti zavar s oksidnim uključcima, dok bi dušik uzrokovao krhak zavar. U oba slučaja se znatno smanjuje čvrstoća spoja.
- Troska sa zavarom se ne smije uklanjati prije nego što se zavar stegne (očvrsne). Pri uklanjanju troske treba koristiti masku sa prozirnim staklom ili zaštitne naočale.

3. Elektrode s jezgrom (ispunjene žičane elektrode)

Postupci elektrolučnog zavarivanja punjenom žičanom elektrodom dobivaju sve veću primjenu. Njima se nastoje ukloniti nedostaci ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom. Postupak elektrolučnog zavarivanja punjenom žičanom elektrodom objedinjuje u sebi pozitivne osobine metalnih obloženih elektroda (zaštita, legiranje i dezoksidacija rastaljenog metala) i mehaniziranog zavarivanja punom žičanom elektrodom (visoka produktivnost).

Punjena žičana elektroda predstavlja, u stvari, neprekidnu elektrodu u obliku cijevi, ili drugog složenijeg oblika, napunjenu praškastom smjesom, u kojoj se nalaze komponente za nastajanje troske i zaštitnih plinova, željezni prah, dezoksidansi, i po potrebi legirajući elementi. Ovisno o sastavu jezgre, žice se mogu upotrebljavati sa dodatnom zaštitom plina ili bez njega. Žice koje se za zavarivanje upotrebljavaju bez zaštitnog plina stvaraju prilikom taljenja veću količinu plina, tako da se postiže kombinirana zaštita plinom i troskom. Jezgre mogu biti nemetalne (kemikalije i minerali) i metalne (metal sličnog sastava onome kojeg zavarujemo).



Slika 4. Presjeci punjenih žica

Vrste obloge elektrode prema sastavu obloge:

- A (Acide) kisela obloga,
- B (Basic) bazična obloga s visokim sadržajem vodika
- C (Cellulosic) celulozna
- R (Rutile) rutilna (rutil = TiO_2)
- O (Oksidne) FeO , SiO_2

• **KISELE ELEKTRODE** nije preporučljivo koristiti za zavarivanje čelika sa višim sadržajem sumpora radi opasnosti od toplih pukotina. Ove se elektrode mogu koristiti u svim položajima zavarivanja uz primjenu istosmjernih ili izmjeničnih izvora struje za zavarivanje. Ove elektrode u normalnim uvjetima zavarivanja (bez vlažnosti okoline, uz dobro skladištenje i rukovanje elektrodama) nije potrebno sušiti.

• **BAZIČNE ELEKTRODE** daju zavareni spoj dobrih mehaničkih svojstava (posebno izduženje i žilavost), a zbog manje prisutnosti štetnih plinova i nemetalnih uključaka (sastav troske veže O_2 , H_2 , S i P), manja je sklonost pukotinama i poroznosti. Nedostaci primjene ovih elektroda su : teže čišćenje troske, poroznost u korijenu zavara ako je dulji električni luk (zavarivanje pod 90°), nešto grublji izgled lica zavara, slabija stabilnost električnog luka kod zavarivanja, velika ovisnost svojstava zavara o zavarivaču. Ove se elektrode koriste kod zavarivanja zahtjevnih zavarenih konstrukcija.

• **RUTILNE ELEKTRODE** se mnogo koriste zbog dobrih mehaničkih svojstava zavara, stabilnosti električnog luka, mogućnosti korištenja DC i AC struje zavarivanja, lijepog izgleda zavara, lakog čišćenja troske. Nedostatak primjene ovih elektroda očituje se kod zavarivanja čelika sa višim sadržajem sumpora, mogućnosti nastajanja toplih pukotina, slabije žilavosti zone taljenja u odnosu na bazične elektrode.

• **CELULOZNE ELEKTRODE** se koriste za zavarivanje u svim položajima DC (istosmjerna) i AC (izmjenična) strujom. Brzina taljenja im je velika, a nastala se troska lako odvaja. Radi velikog provara koriste se za zavarivanje korijena u cijevi.

Funkcija obloge elektrode je trostruka:

Pri zavarivanju elektrolučnim postupcima zavarivanja uloga zaštite je dvostruka, odnosno trostruka (ovisno o tome radi li se o zaštiti kod obložene elektrode, praškom punjenoj žici, zaštitnom prašku kod EP zavarivanja ili zaštitnom plinu / plinskoj mješavini).

Tako npr., funkcije obložene elektrode su:

1. Fizikalna
2. Električna
3. Metalurška

1. Fizikalna funkcija:

- Pokriva i štiti zavar – stvara zaštitnu atmosferu koja onemogućuje nepovoljan utjecaj O, N i H na rastaljeni metal.
- Smanjuje brzinu hlađenja zavara.
- Svojim prisustvom, troska tlači metal i skrutnuti metal dobiva glatku površinu ispod troske.

2. Električna funkcija

- Pojačava ionizaciju koja djeluje na stabilnost i usmjerenost električnog luka.

- Već je Kjelberg 1908. g. otkrio da obloga elektrode daje električki stabilniji luk. Električno luk se lakše pali i lakše održava. Potrebno je u oblogu elektrode dodati stabilizatore električnog luka: Cs, K, Ca ili druge elemente koji imaju nisku energiju ionizacije.

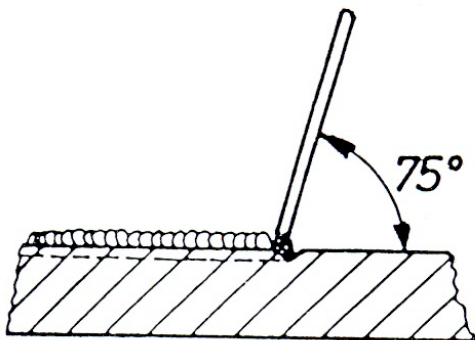
3. Metalurška funkcija

- Dezoksidacija i poboljšavanje kvalitete zavara unošenjem legirnih elementa.
- Rafiniranje rastaljenog metala odstranjivanjem S i P, tvorbom sulfida i fosfida, koji isplivaju na površinu metalne kupke i odstranjuju se s troškom.
- Vezanje vodika koji izlazi iz rastaljenog metala, a time se smanjuje opasnost hladnih pukotina.
- Dolegiranje elemenata, koji izgaraju u električnom luku (Cr, Ni, Mn, Si). Obično se dodaju fero - krom, fero - nikl, fero - mangan i fero - silicij u oblogu.
- Dodavanje elemenata za stvaranje finog zrna: Ti, Al, jer ovi elementi tvore puno klica kristalizacije u fazi skrućivanja.
- Dodavanje elemenata za dezoksidaciju rastaljenog metala: Al, Si, Mn.

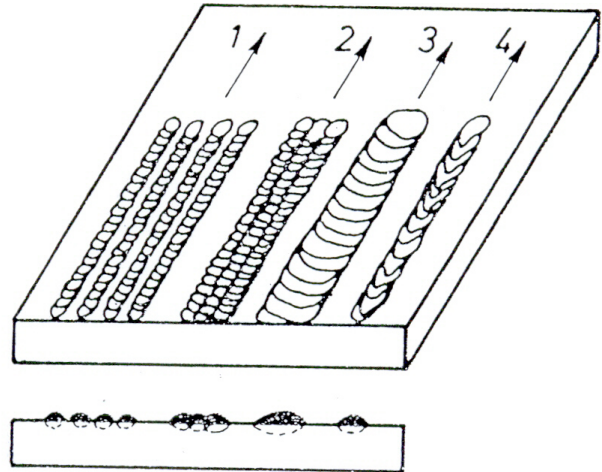
5. Nekoliko vježbi za zavarivače početnike

1. Navarivanje u vodoravnim položaju

Navarivanje u vodoravnom položaju može se obavljati pravolinijskim povlačenjem elektrode ili tako da se elektroda poprečno kreće (kretanje okomito na smjer zavarivanja). Nagib elektrode treba biti kao na priloženoj slici i mijenja se samo onda kada se nagibom elektrode sprečava puhanje električnog luka. Pravilan nagib elektrode osigurava ravnomjerno pokrivanje rastaljenog metala troškom i sprečava tečenje troske na nerastaljeni metal i pod električni luk.



Slika 5. Nagib elektrode pri zavarivanju

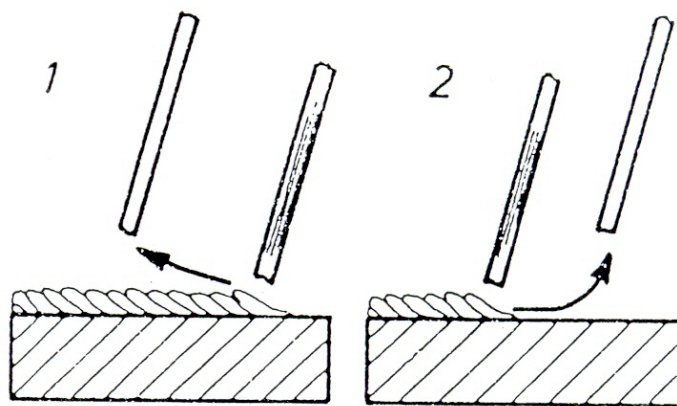


Slika 6. Načini izvođenja slojeva pri zavarivanju

Slika 6 prikazuje neke tehnike rada:

- 1 – navar dobiven pravolinijskim povlačenjem elektrode
- 3 - da se dobije širi navar izvodi se poprečno kretanje elektrode. Pri tome se ne njišu samo elektrode, nego zavarivač pomiče čitavu ruku lijevo – desno u smjeru okomitom na smjer zavarivanja.
- 2 – ako je potrebno navariti veće površine, polaže se jedan zavar uz drugi.
- 4 – navarivanje u više slojeva. Pri nanošenju idućeg sloja navari se polažu između dva navara u predhodnom sloju.

Prekidanje električnog luka vrši se vraćanjem elektrode na izvedeni navar. Ako se luk prekida podizanjem elektrode, navar će na mjestu prekida luka biti porozan.

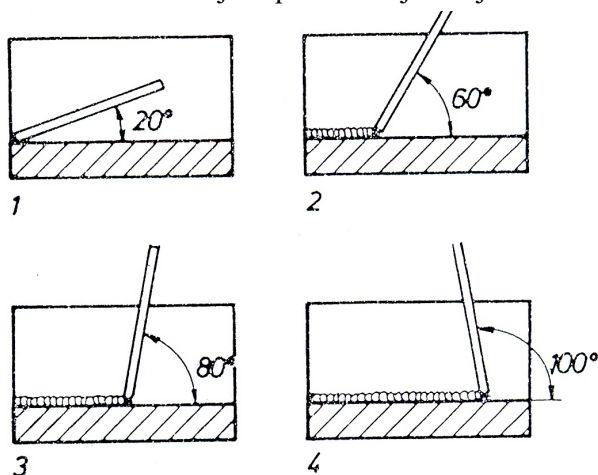


Slika 7. Prekidanje električnog luka (1- pravilno, 2- nepravilno)

2. Zavarivanje kutnog spoja u vodoravnom položaju

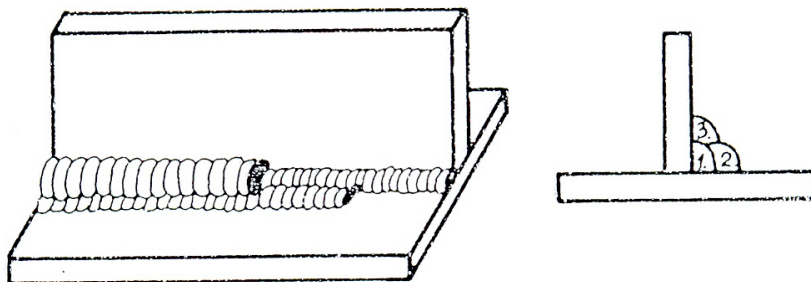
Zbog puhanja električnog luka pri zavarivanju kutnog spoja nagib elektrode se mijenja s povećanjem dužine zavara. Na početku zavara elektroda je nagnuta za oko 20° od horizontalne ravnine u smjeru zavarivanja. Povećanjem dužine zavara povećava se i kut nagiba elektrode prema horizontalnoj ravnini.

U odnosu na vertikalnu ravninu, elektroda je nagnuta pod kutom 40° do 45° . Pri jednoslojnom zavarivanju taj se kut mijenja jedino kada se zahtijeva provarivanje korijena.



Slika 8. Nagibi elektrode pri kutnom vodoravnom zavarivanju

Pri višeslojnom zavarivanju slojevi se nanose po određenom redosljedu kao na slici. Prvi sloj se obično zavaruje elektrodom $\phi 4$ mm - $\phi 3,25$ mm. Elektroda $\phi 3,25$ mm se upotrebljava kad visina zavara treba biti do 3 mm. Za visine zavara do 4 mm upotrebljava se elektroda $\phi 4$ mm. Ako visina zavara treba biti veća od 4 mm, zavaruje se u više slojeva.



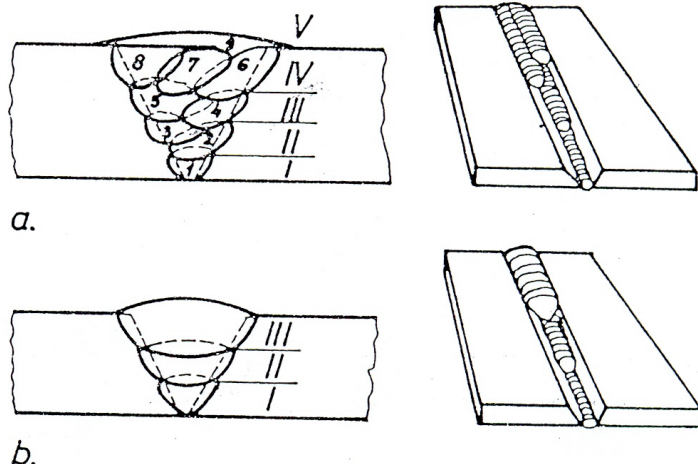
Slika 9. Redosljed nanošenja slojeva pri vodoravnom kutnom zavarivanju

3. Zavarivanje V-spoja u vodoravnom položaju

Nagib elektrode približno je jednak onome pri navarivanju u vodoravnom položaju. Izbor promjera elektrode ovisi o debljini osnovnog materijala. Kod limova debljine 4 do 6 mm korijen se izvodi elektrodom $\phi 2,5$ mm, a kod debljih limova elektrodom $\phi 3,25$ mm i $\phi 4,0$ mm. Za zavarivanje ostalih slojeva odabire se elektroda maksimalnog promjera kojom se može dotaknuti već položeni sloj.

Provarivanje korijena vrši se kada obje strane lima nisu dostupne. Žlijeb se može popuniti vezanim ili nevezanim slojevima.

Vezani slojevi upotrebljavaju se pri zavarivanju debljih limova, a preporučuju se i pri zavarivanju bazičnom elektrodom. Zavaruje se bez poprečnih kretanja elektrode. Nevezani slojevi izvode se u žlijebu tako da zavarivač vrši poprečna kretanja elektrodom.



Slika 10. Zavarivanje V-sloja u vodoravnom položaju (a-vezanim slojevima; b- nevezanim slojevima)

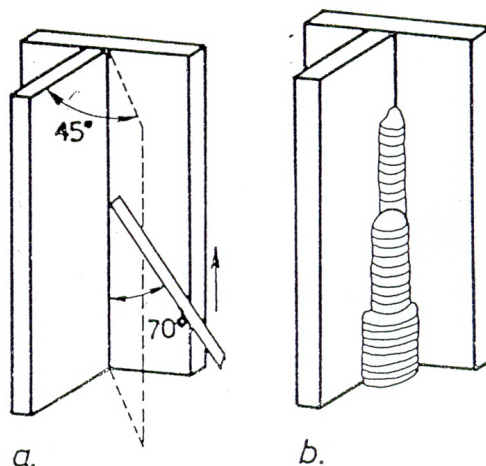
4. Zavarivanje kutnog spoja u vertikalnom položaju

Zavarivanje kutnog spoja u vertikalnom položaju može se izvoditi u smjeru odozgo prema dolje i u smjeru odozdo prema gore.

Pri zavarivanju odozgo prema dolje elektroda je nagnuta u smjeru zavarivanja pod kutom od oko 80° . Zavaruje se bez poprečnog kretanja elektrode. Za taj smjer zavarivanja mogu se upotrebljavati samo elektrode koje su tome prilagođene.

Pri zavarivanju odozdo prema gore elektroda je također nagnuta pod kutom od oko 80° , ali suprotno od smjera zavarivanja. Zavarivanje može biti jednoslojno i višeslojno. Visina zavara oko 3 mm izvodi se elektrodom promjera 2,5 mm u jednom sloju, a zavari visine 4 do 5 mm elektrodom promjera 3,25 mm. Veće visine zavara izvode se elektrodama promjera 3,25 i 4,0 mm u više slojeva.

Jakost struje zavarivanja je 10 do 20 % manja nego pri vodoravnom zavarivanju.



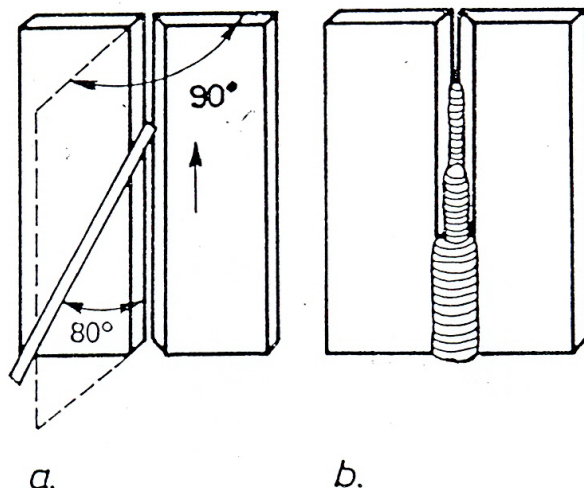
Slika 11. a - Nagib elektrode pri vertikalnom kutnom zavarivanju; b - popunjavanje žljeba

5. Zavarivanje V-spoja u vertikalnom položaju

Isto kao i kutno, zavarivanje V-spoja u vertikalnom položaju može se izvoditi u smjeru odozgo prema dolje i odozdo prema gore.

Zavarivanje odozgo prema dolje vrši se bez poprečnog kretanja elektrode a s elektrodama koje su tome namijenjene. Nagib elektrode održava se kao na slici. Upotrebljava se za zavarivanje tankih limova ili pri zavarivanju prvih slojeva limova veće debljine.

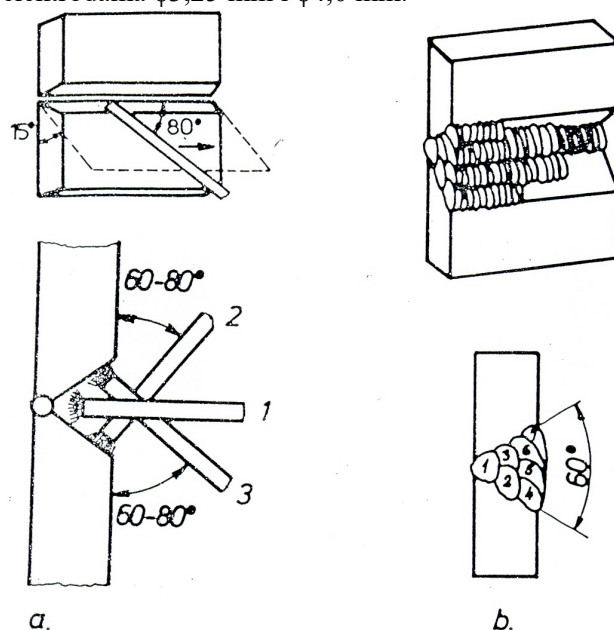
Zavarivanje odozdo prema gore može se izvoditi sa i bez poprečnih kretanja elektrode. Promjer elektrode ovisi o debljini osnovnog materijala. Za limove debljine do 10 mm korijen se zavaruje elektrodom $\phi 2,5$ mm, a ostali slojevi elektrodom $\phi 3,25$ mm. Za deblje limove korijen se zavaruje elektrodom $\phi 3,25$ mm, a ostali slojevi elektrodom $\phi 3,25$ mm i $\phi 4,0$ mm. Jakost struje je 10 do 20 % manja nego kod vodoravnog zavarivanja.



Slika 12. a – Nagib elektrode pri vertikalnom zavarivanju V-spoja; b – Popunjavanje žljeba

6. Zavarivanje V-spoja u zidnom položaju

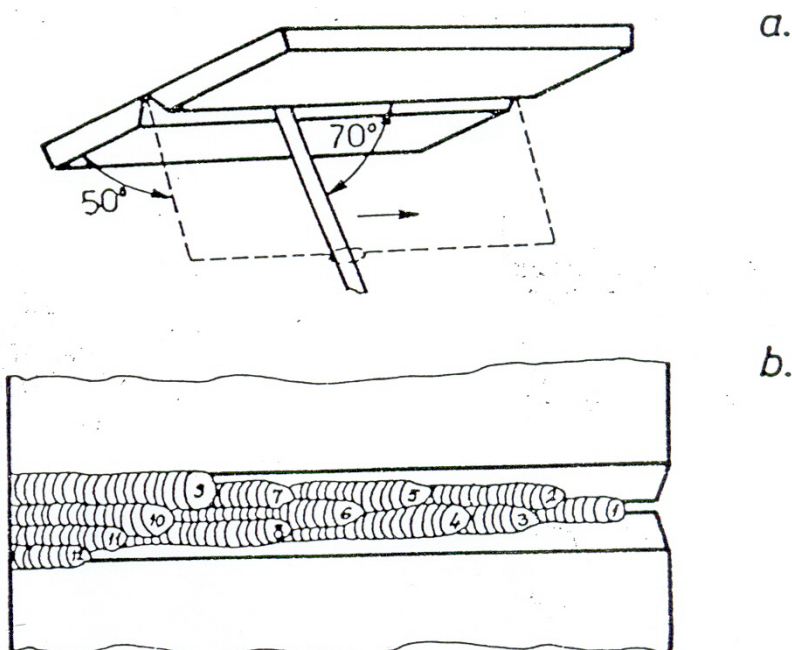
Zavarivati se može sa i bez poprečnog kretanja elektrode, ovisno o debljini osnovnog materijala. Nagib elektrode treba biti kao na slici. Položaj 1 upotrebljava se pri zavarivanju korijena, a položaji 2 i 3 pri nanošenju ostalih slojeva u žlijeb. Izbor promjera elektrode ovisi o debljini lima. Kod materijala debljine 4 do 10 mm korijen se izvodi elektrodom $\phi 2,5$ mm. Za ostale debljine materijala korijen se izvodi elektrodom $\phi 3,25$ mm, a ostali slojevi elektrodama $\phi 3,25$ mm i $\phi 4,0$ mm.



Slika 13. a – Nagib elektrode pri zidnom zavarivanju V-spoja; b – Popunjavanje žljeba

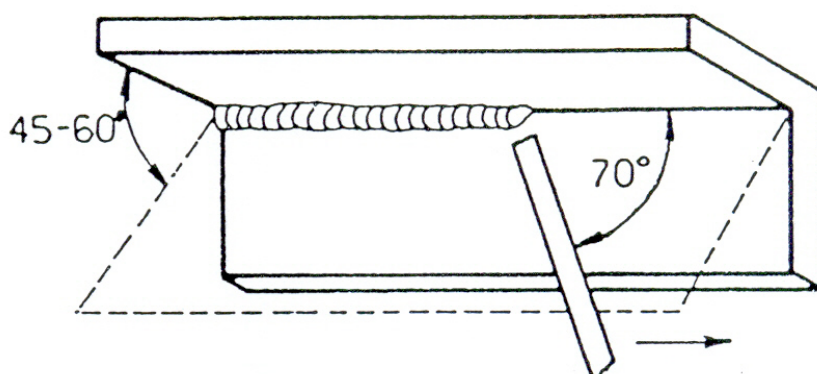
7. Zavarivanje V-spoja u nadglavnom položaju

Nagib elektrode treba biti kao na slici. Zavaruje se poprečnim kretanjem elektrode, a žlijeb se popunjava kao na slici. Za provarivanje korijena upotrebljavaju se elektrode promjera $\phi 2,5$ mm i $\phi 3,25$ mm. Ostali slojevi u žlijebu izvedu se elektrodama promjera $\phi 3,25$ mm i $\phi 4,0$ mm.



Slika 14. a – Nagib elektrode pri nadglavnom zavarivanju; b – Popunjavanje žljeba

8. Zavarivanje kutnog spoja u nadglavnom položaju



Slika 15. Nagib elektrode pri nadglavnom kutnom zavarivanju

6. Postupci elektrolučnog zavarivanja

1. REL - ručno elektrolučno zavarivanje
2. MAG – pod zaštitom aktivnog plina CO₂
3. MIG – pod zaštitom plemenitog plina (inertnog) Ar, He
4. EPP – pod zaštitom praška
5. TIG – zavarivanje netopivom volframovom elektrodom u zaštitnoj atmosferi (argon)

Električni luk nastaje između metalne elektrode i predmeta koji zavarujemo. Ako se elektroda tali, služi još i kao dodatni materijal. Metalne elektrode koje se ne tale (volframova), služe samo za stvaranje električnog luka, a ako je potreban dodatni materijal on se dobiva taljenjem dodatne žice u plamenom luku.

Zaštitni plin

Zaštitni plin je važan element pri zavarivanju iako se često malo zanemaruje. Uloga mu je da potiskuje zrak čiji sastav štetno djeluje na strukturu zavarenog spoja. U prostoriji gdje se koristi ne smije biti strujanja zraka (propuh), jer će se otpuhati zaštitni plin i nastat će greške – plinski uključci.

Treba ispitati:

- stupanj čistoće (koji katkad propisuju norme)
- rosište, parametar koji može biti posebno važan kad postoji strah od pucanja u hladnom stanju, jer se stvara vlaga koja u zavar može unijeti vodik (trebalo bi tražiti plin s rosištem nižim od najmanje -40°C. Podsjećamo da se plin prilikom istjecanja hladi).

I. Podjela prema vrsti elektrode i zaštitnog plina

1. Zavarivanje netopivom (volframovom) elektrodom

- a) Zavarivanje u zaštiti inertnog plina
- b) Zavarivanje plazmom
- c) Zavarivanje u zaštiti H₂

2. Zavarivanje topivom elektrodom

- a) Zavarivanje punjenom žičanom elektrodom
 - zavarivanje bez zaštite plinom
 - zavarivanje u zaštiti CO₂ plina
- b) Zavarivanje punom žičanom elektrodom
 - zavarivanje u zaštiti inertnog plina – MIG
 - zavarivanje u zaštiti aktivnog plina - MAG

II. Podjela prema obliku zavarivačkog luka

1. Zavarivanje normalnim zavarivačkim lukom (SPRAY-ARC)
2. Zavarivanje dugačkim (prijelaznim) lukom
3. Zavarivanje kratkim zavarivačkim lukom (SHORT-ARC)
4. Zavarivanje pulsirajućim zavarivačkim lukom (IMPULSNI)

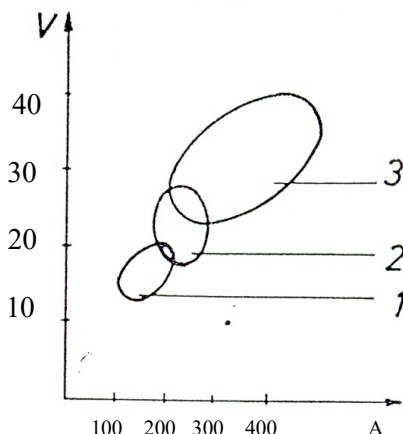
Oblik zavarivačkog luka

S obzirom na vrstu prijenosa metala kroz električni luk razlikuje se:

- zavarivanje kratkim lukom (Short-Arc) i
- zavarivanje štrcajućim lukom (Spray-Arc).

Slika 16. Područja zavarivanja
kratkim i štrcajućim lukom

- 1 - područje kratkog luka
- 2 – prijelazno područje
- 3 – područje štrcajućeg luka



Kratki luk:

- upotrebljava se za promjere žica 0,6 mm; 0,8 mm; 1,0 mm; 1,2 mm;
- dobiva se kod napona 12 do 21 V i jakosti struje zavarivanja od 50 do 200 A.
- Upotrebljava se kada se zahtijeva relativno niska temperatura rastaljenog metala, npr. pri zavarivanju tankih limova, zavarivanju korijena ili zavarivanju u prisilnim položajima.
- Nepravilnom tehnikom rada može pri zavarivanju kratkim lukom doći do hladnog naljepljivanja, kao posljedica nerastaljenog osnovnog materijala.

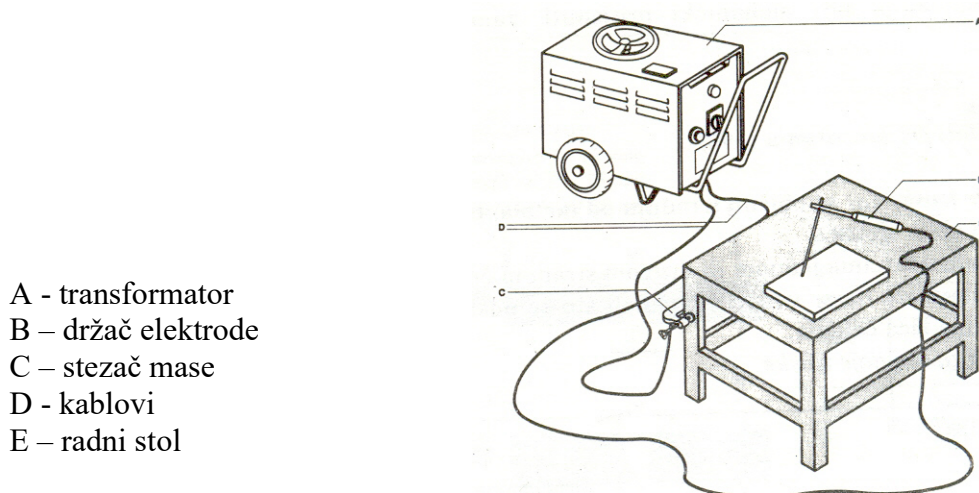
Štrcajući luk:

- primjenjuje se na žice promjera 1,2 mm; 1,6 mm; i 2,0 mm.
- Dobiva se na naponu 24 do 45 V i jakosti struje zavarivanja od 200 do 900 A.
- Štrcajućim lukom postižu se znatno veći učinci nego upotrebom kratkog luka,
- Osnovni materijal se jače zagrijava.

Prijelazno područje:

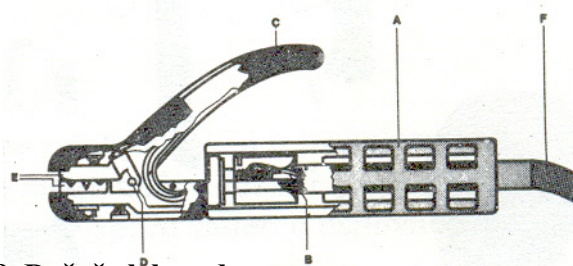
- dobiva se pri naponu 22 do 24 V i jakosti struje zavarivanja 150 do 300 A.

7. REL postupak zavarivanja



Slika 17. Radno mjesto zavarivača

- A - drška
B – priključak za kebel
C - poluga
D - zglobov
E – čeljusti za elektrodu
F – električni kabel

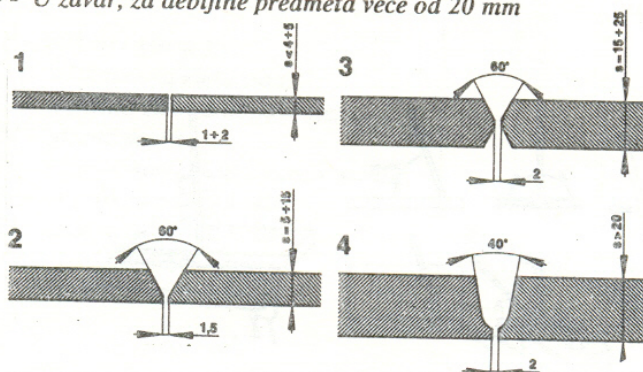


Slika 18. Držač elektrode

Držači elektrode moraju osigurati dobro stezanje elektrode i imati dobru električnu izolaciju. Stezači mase mogu biti izravno spojeni za radni predmet ili za metalni stol na kojem se radni predmet nalazi. Uglavnom se izrađuju iz bronce, a stezanje se izvodi pomoću vijaka ili opruge. Električni kablovi ne smiju biti mehanički pritisnuti, zamršeni kao ni izloženi izvorima topline.

Prije samog procesa zavarivanja treba obaviti pripremu predmeta. Pod pripremom predmeta se podrazumjeva obrada bridova koji se spajaju i njihovo međusobno pozicioniranje. Način pripreme bridova zavisi od vrste spoja i od debljine predmeta. Pri zavarivanju, predmet treba postaviti u najpovoljniji položaj koji se mora zadržati tijekom zavarivanja. U tu svrhu se koriste razna pomoćna sredstva: stezači, šape, magnetne ploče, itd.

- 1 - I zavar, za debljine predmeta do 5 mm;
2 - V zavar, za debljine predmeta od 5 - 15 mm;
3 - X zavar, za debljine predmeta od 15 - 25 mm;
4 - U zavar, za debljine predmeta veće od 20 mm

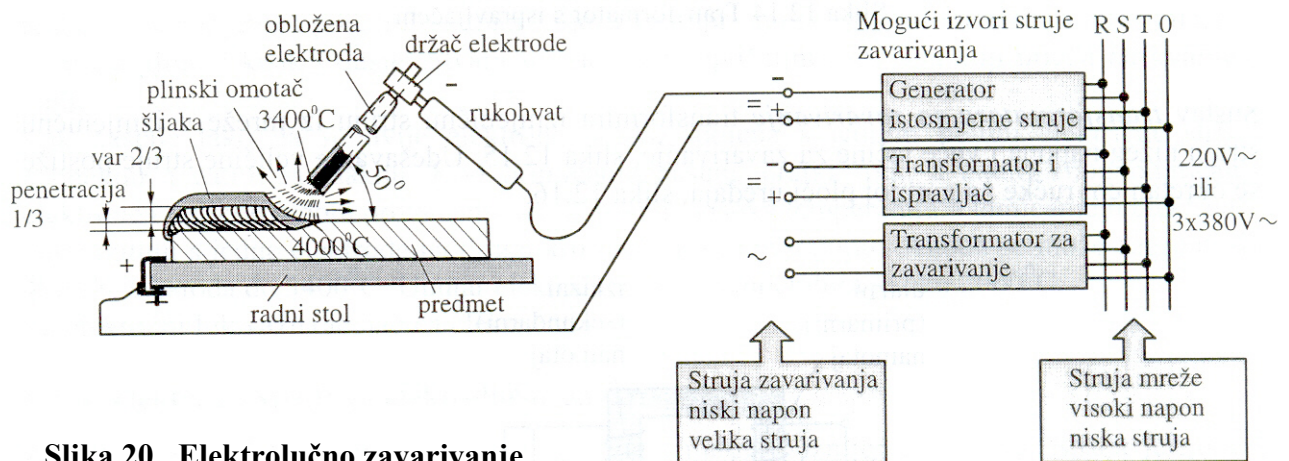


Slika 19. Priprema predmeta

Alati za zavarivanje:

Pod alatima za zavarivanje podrazumjeva se: držač elektroda, sjekač i čekić za šljaku, čelična četka, radionički kontrolnik za kontrolu debljine zavora, magnetski držači i magnetske stege.

Držač elektroda je spojen s izvorom struje zavarivanja, a štipaljkom učvršćuje izmjenljivu elektrodu za zavarivanje. Rukohvat držača mora biti dobro električni izoliran. Sjekač i čekić za šljaku je pomoćni alat za skidanje šljake sa zavara. Čelična četka služi za čišćenje zavara nakon što je skinuta šljaka. Zavarivački radionički kontrolnik namijenjen je provjeri debljine zavara, a magnetski držači olakšavaju sastavljanje radnih predmeta pri zavarivanju.



Slika 20. Elektrolučno zavarivanje

Pri izboru elektrode postoji više faktora koje treba uzeti u obzir, a to su:

- svojstva osnovnog materijala,
- debljina predmeta,
- vrsta aparata za zavarivanje,
- položaj zavarivanja,
- oblik zavarivanja,
- stupanj opterećenja, i dr.

Pri radu je potrebno držati se uputa koje su dali proizvođači elektroda. Promjeri elektroda se kreću 1-6 mm.

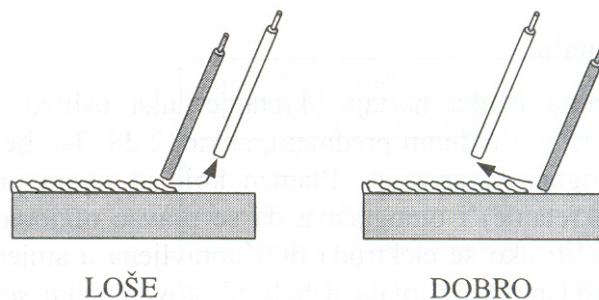
Jakost struje koju treba odabrati ovisi o promjeru elektrode i o vrsti obloge elektrode, a približni podaci su u tablici. Mala jakost struje uvjetuje sporo taljenje osnovnog materijala, pa elektroda ne vari nego "lijepi". Velika jakost struje dovodi do brzog zagrijavanja osnovnog metala, pri čemu može doći do progorijevanja.

elektrode (mm)	Jačina struje (A)	
	Kisela obloga	Bazična obloga
1	40—50	40—50
1,50	50—60	50—60
2	60—85	60—80
2,5	80—120	80—100
3,25	110—160	100—150
4	150—220	140—200
5	190—300	200—260
6	250—380	220—320

Slika 21. Izbor jakosti struje

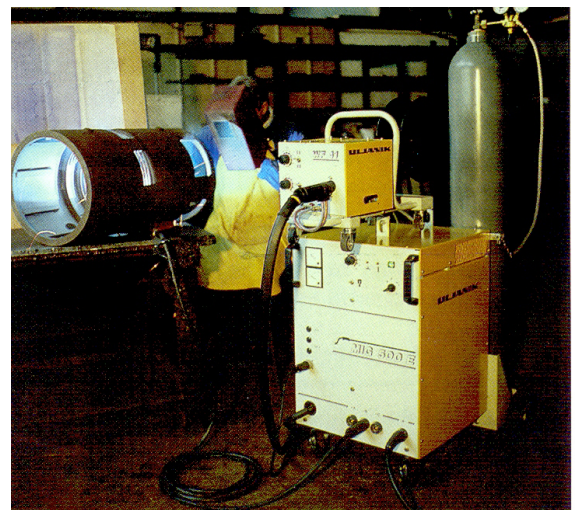
Uspostavljanje i održavanje električnog luka

Električni luk se uspostavlja (pali) dodiranjem elektrode osnovni materijal. Duljina električnog luka ovisi o tipu elektrode koja se koristi. Pri radu sa golim elektrodama i elektrodama sa tankim i srednjim oblogama, duljina luka jednaka je promjeru elektrode. Nagib elektrode pri zavarivanju zavisi od tehnike rada, a treba nastojati da elektroda bude što okomitija (oko 80°). Brzina zavarivanja ovisi o promjeru elektrode, jakosti struje i položaju zavarivanja, a mora biti takva da rastaljeni metal bude dobro zaštićen slojem plivajuće troske. Kod spojeva koji se dobivaju uskim zavarom, elektroda se može pokretati pravocrtno, a kod polaganja širih zavarova luk se održava pokretanjem elektrode "cik-cak". Prekidanje luka je značajno za kvalitet šava. Ne smije se vršiti podizanje elektrode na mjestu završetka, nego treba nisko spuštenu elektrodu vratiti malo unazad, pa tu prekinuti luk podizanjem elektrode. Nepravilno prekidanje luka dovodi do šupljikavosti u zavaru.



Slika 22. Prekidanje električnog luka

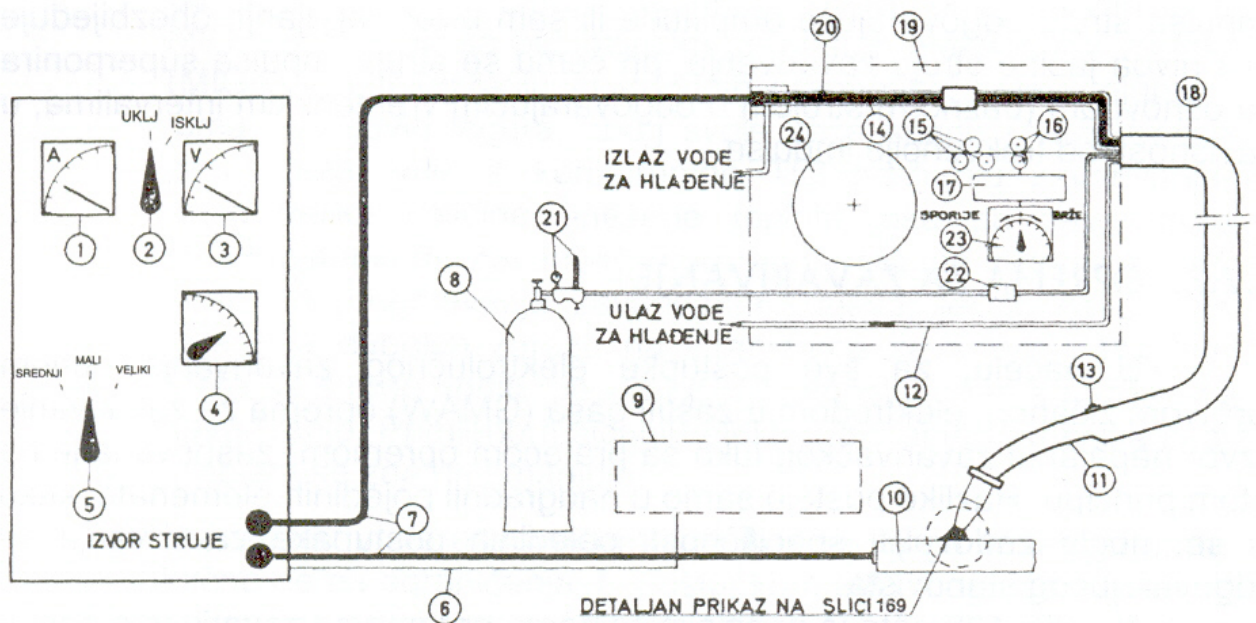
8. MIG/MAG postupak zavarivanja



Slika 23. Uređaji za MIG/MAG postupak zavarivanja

Ovo je poluautomatski postupak (nema kolica). Žica kontinuirani dolazi iz koluta a plin iz boce i to kroz jedan zajednički pištolj koji vodimo rukom. Princip postupka i uređaji za zavarivanje MIG i MAG jednaki su. Razlika je između ta dva postupka samo ta što se za zaštitu rastaljenog metala upotrebljavaju različiti zaštitni plinovi, a različito je i područje upotrebe postupka. Kod MAG postupka, zavarivanje je najčešće u zaštiti aktivnog plina CO_2 koji se dovodi kroz mlaznicu. MIG postupak zavarivanja se izvodi najčešće u zaštiti inertnog plina argona, a rjeđe helija. Zbog inertne atmosfere ne nastaju kemijske reakcije između rastaljenog metala i zaštitnog plina.

Postupcima MAG/MIG zavarivanja mogu se zavarivati svi komercijalni značajni metali i njihove legure: ugljični, niskolegirani i visokolegirani čelici, aluminij, bakar, nikal, titan i drugi obojeni metali i njihove legure, kao i raznorodni čelici i raznorodni ostali metali, i to u svim položajima zavarivanja.



- 1 - ampermetar; 2 - mrežni prekidač; 3 - voltmeter; 4 - regulator za izbor napona zavarivanja; 5 - preklopnik indukcije; 6 - komandni kabel; 7 - strujni kabel; 8 - boca sa zaštitnim plinom; 10 - osnovni materijal; 11 - pištolj; 12 - crijevo za rashladnu tekućinu; 13 - dugme za uključivanje procesa zavarivanja; 14 - strujni kabel; 15, 16 - kotači za dovod žice; 18 - paket crijeva i kablova; 19 - komandni ormar; 21 - regulacioni ventil za mjerenje protoka zaštitnog plina; 22 - magnetni ventil; 23 - regulator brzine dovođenja žice; 24 - kolut sa žicom

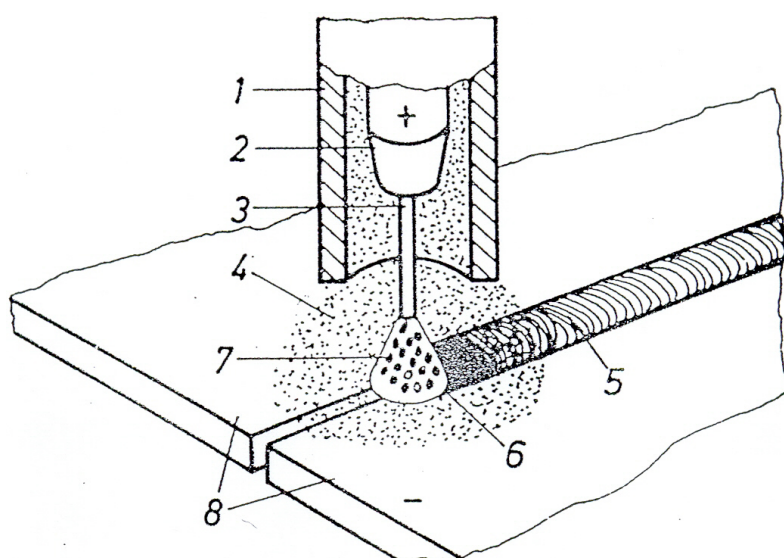
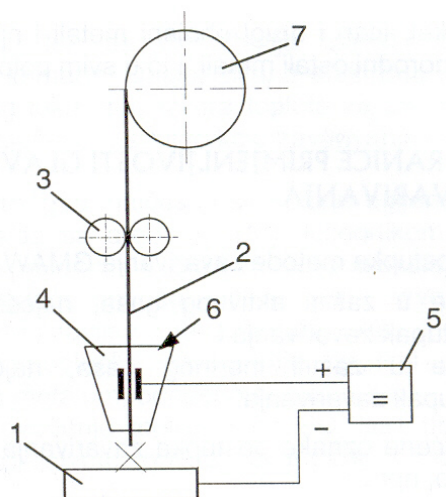
Slika 24. Shema opreme za zavarivanje MIG/MAG i punjenom žičanom elektrodom

Električni luk gori između metalne elektrode, koja se tali pa služi kao dodatni materijal, i osnovnog materijala. Metalna elektroda je u obliku žice namotana na kolut, a pomoću pogonskog mehanizma kroz pištolj za zavarivanje se dovodi na mjesto taljenja. Dakle, žičana elektroda se koristi za uspostavljanje električnog luka, kao izvor topline za zavarivanje, i kao dodatni materijal. Ona je uključena u strujno kolo zavarivanja i dovodi se automatizirano u zavar.

U američkoj literaturi je za ovaj postupak zavarivanja usvojena skraćena oznaka GMAW (Gas Metal Arc Welding), a u njemačkoj MSG (Metall – Schutzgasschweißen).

- 1 – osnovni materijal
- 2 – žičana elektroda
- 3 – mehanizam za dovođenje žice
- 4 – mlaznica zaštitnog plina
- 5 – izvor napajanja
- 6 – zaštitni plin
- 7 – kolut sa žičanom elektrodom

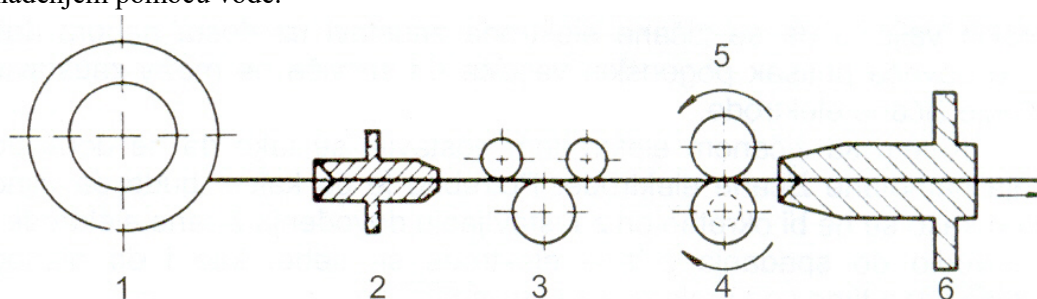
Slika 25. Shematski prikaz elektro-lučnog zavarivanja punom taljivom elektrodom pod zaštitom plina (GMAW)



- 1 - mlaznica zaštitnog plina; 2 – držač elektrode; 3 – žičana elektrode; 4 – zaštitni plin; 5 – zavar;
- 6 – rastaljeni metal; 7 – električni luk; 8 – osnovni materijal

Slika 26. Shematski prikaz MIG/MAG postupka zavarivanja

Pištolj za zavarivanje – različitog je oblika i konstrukcije. Razlikujemo pištolje sa hlađenjem pomoću zraka i pištolje sa hlađenjem pomoću vode.



- 1 – kolut sa žicom; 2 – izlazna vodilica; 3 – valjčići za ravnanje i usmjeravanje žice; 4 – pogonski valjčić;
- 5 – pritiski valjčić; 6 – ulazna vodilica

Slika 27. Uređaj za dovođenje žičane elektrode

9. Parametri zavarivanja MIG/MAG postupka

Kvalitetan zavareni spoj postiže se:

1. pravilnim izborom parametara zavarivanja i
2. pravilnim izborom dodatnog materijala.

Dobro izabrani parametri zavarivanja osiguravaju miran i stabilan električni luk, a ti parametri su:

- jakost struje zavarivanja,
- brzina dovoda žice,
- promjer žice,
- napon zavarivanja,
- brzina zavarivanja,
- dužina slobodnog kraja žice,
- protočna količina zaštitnog plina,
- polaritet elektrode,
- nagib pištolja.

Jakost struje zavarivanja ovisi o debljini osnovnog materijala i položaju zavarivanja. Utječe na koeficijent taljenja i dužinu prodiranja luka (penetraciju), a proporcionalna je brzini dovoda žice. Što je veća jakost struje, mora biti veća brzina dovoda žice.

Promjer žice ovisi o odabranoj jakosti struje, dakle o debljini osnovnog materijala i položaju zavarivanja. Uz određenu jakost struje zavarivanja, veći koeficijent taljenja se postiže upotrebom tanje žice. Isto tako je penetracija veća ako se upotrijebi manji promjer žice, pa se zbog toga za navarivanje uzimaju žice većeg promjera.

Napon zavarivanja, uz jakost struje najviše utječe na kvalitet zavarenog spoja. Uz odabranu jakost struje i uz žicu određenoga promjera zavariti se može s različitim vrijednostima napona. Povećanjem napona povećava se širina zavora i prskanje materijala za vrijeme zavarivanja, a smanjuju se penetracija i nadvišenje zavora. Upotrebom manjeg napona postižu se bolje mehaničke osobine zavarena spoja, iako je izgled zavora lošiji.

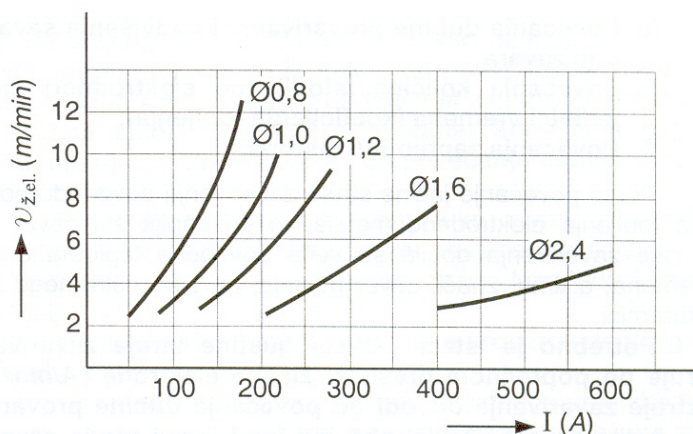
Brzina zavarivanja ovisi o položaju zavarivanja i odabranoj jakosti struje. Suviše velika brzina zavarivanja izaziva prekomjerno prskanje materijala, malu penetraciju, ugorine i veliko nadvišenje zavora. Pri suviše maloj brzini zavarivanja stvara se velika količina pregrijane topline.

Pod slobodnim krajem žice podrazumjeva se onaj dio žice kroz koji prolazi struja zavarivanja, tj. dio žice koji se nalazi izvan kontaktne vodilice. Zagrijavanje slobodnog kraja žice uz nepromijenjenu jakost struje, veća je što je veća dužina slobodnog kraja žice. Ako je brzina dovoda žice konstantna, jakost struje zavarivanja se smanjuje s povećanjem dužine slobodnog kraja žice, jer zbog jačeg zagrijavanja veći su gubici struje. U pravilu se nastoji da dužina slobodnog kraja žice bude što manja, da bi luk bio što mirniji. Kod suviše male dužine slobodnog kraja žice dolazi do onečišćenja sapnice i kontaktne vodilice, a može doći i do taljenja žice u samoj vodilici.

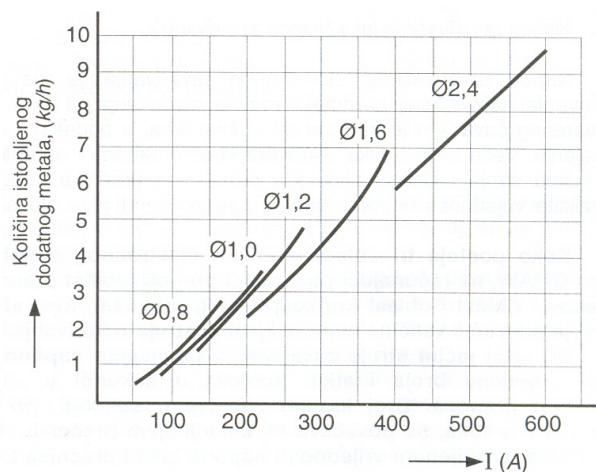
Protočna količina zaštitnog plina kreće se od 6 do 20 l/min., a ovisi o veličini upotrijebljene sapnice i odabranoj jakosti struje. Kod suviše male protočne količine zaštitnog plina može se u zavoru pojaviti porozitet zbog slabe zaštite rastaljenog metala.

Polaritet elektrode utječe na penetraciju, koeficijent taljenja i stabilnost električnog luka. Najčešće se elektroda priključuje na plus (+) pol. Ako je elektroda priključena na minus (-) pol, povećava se koeficijent taljenja, a smanjuje penetracija i stabilnost električnog luka, pa je proces zavarivanja neujednačen.

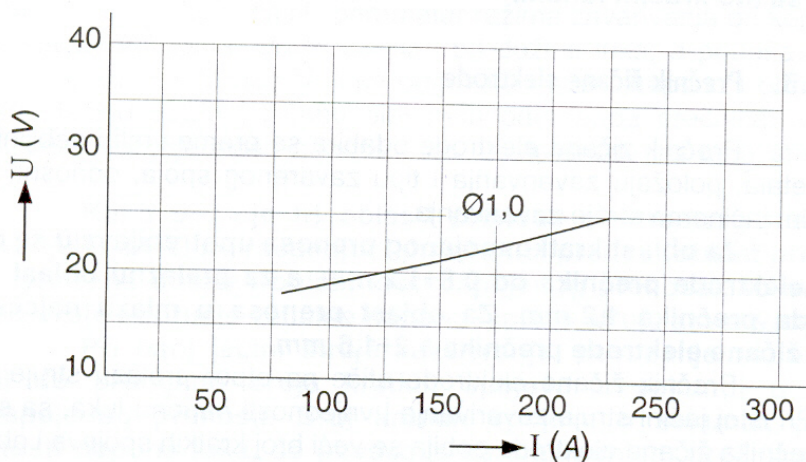
Nagib pištolja u smjeru ili suprotno od smjera zavarivanja utječe na oblik zavora i penetraciju. Kod nagiba pištolja u smjeru zavarivanja penetracija je veća, širina zavora je manja, a nadvišenje zavora veće. Kod nagiba pištolja suprotno smjeru zavarivanja širina zavora je veća, a nadvišenje i penetracija se smanjuju.



Slika 28. Jakost struje zavarivanja u zavisnosti od brzine dovođenja žičane elektrode za različite promjere žičane elektrode



Slika 29. Količina istopljenog dodatnog metala u zavisnosti od jakosti struje zavarivanja



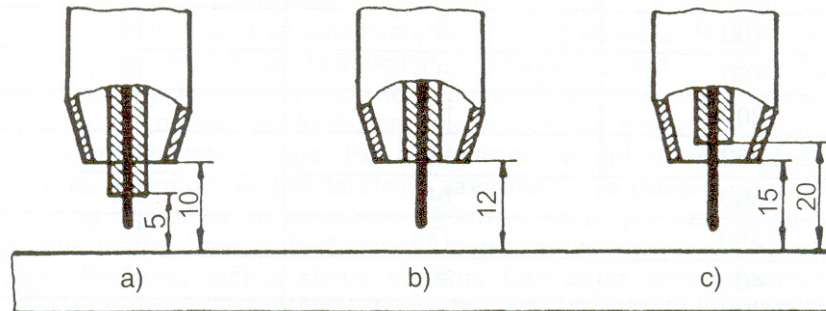
Slika 30. Napon zavarivanja u zavisnosti o jakosti struje zavarivanja

Jačina struje zavarivanja, (A)	Dužina izvučenog dijela žičane elektrode, (mm)	Udaljenost mlaznice zaštitnog gasa, (mm)
50	5	10
100	6	10
150	8	10
200	10	12
250	12	12
300	14	12
350	17	12
400	20	15

Slika 31. Dužina izvučenog (slobodnog) kraja žice iz kontaktne vodilice i udaljenost mlaznice zaštitnog plina od osnovnog materijala. (orijentacioni podaci)

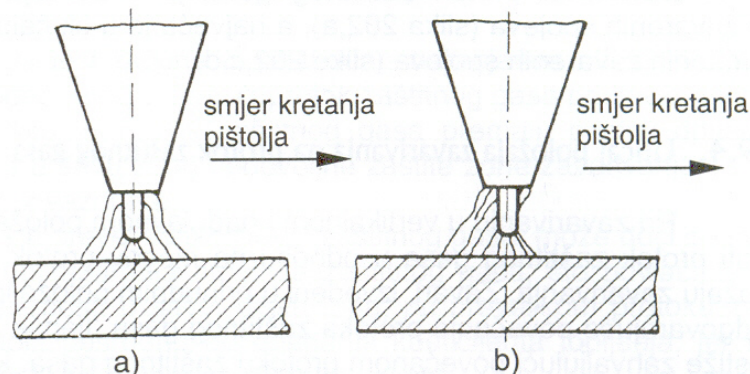
Ako je udaljenost mlaznice zaštitnog plina premala od osnovnog materijala OM dolazi do naljepljivanja kapljica rastaljenog metala na mlaznicu što remeti strujanje zaštitnog plina kroz mlaznicu što se opet odražava na pojavu pora u zavaru i u konačnosti na sniženje kvalitete zavarenog spoja.

Prevelika udaljenost mlaznice zaštitnog plina od OM dovodi do slabljenja plinske zaštite, što ima za posljedicu slabu kvalitetu zavarenog spoja. Pri tome se smanjuje i stabilnost luka tj. otežava proces zavarivanja.



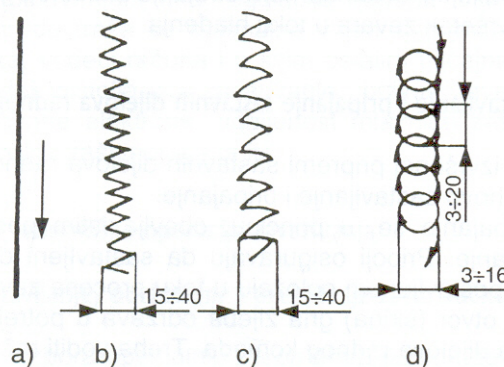
Slika 32. Međusobni položaj mlaznice zaštitnog plina i kontaktne vodilice za različite jačine struje zavarivanja

- za male vrijednosti struje zavarivanja (50-150 A) i male promjer žičane elektrode, kontaktna vodilica treba biti izvučena iz mlaznice zaštitnog plina (slika a)
- za srednje vrijednosti struje zavarivanja (150-300 A), odnosno srednje promjere žičane elektrode, kontaktna vodilica treba biti približno u ravni s mlaznicom zaštitnog plina (slika b)
- za velike vrijednosti struje zavarivanja (iznad 350 A), odnosno za najveće promjere žičane elektrode, kontaktna vodilica treba biti uvučena u mlaznicu zaštitnog plina oko 5 mm. (slika c)



Slika 33. Utjecaj brzine zavarivanja na protok zaštitnog plina

Sa povećanjem brzine zavarivanja, neophodno je povećati protok zaštitnog plina, kako bi zaštita zone zavarivanja bila što potpunija. Ako se to ne napravi dolazi do "otpuhivanja" plina, tj. do njegovog zaostajanja iza luka, pa je talina izložena štetnom utjecaju zraka što ima za posljedicu nekvalitetan zavar.



Slika 34. Vođenje pištolja pri zavarivanju

- Slika a) – pravolinijsko pomjeranje bez poprečnog kretanja
- Slika b) i c) – pomjeranje sa poprečnim kretanjem vrha žičane elektrode u odnosu na os zavora (za sučeone spojeve srednjih i većih debljina i za zavarivanje kutnih spojeva)
- Slika d) – pomjeranje vrha žičane elektrode u obliku petlji (u slučajevima kada je potrebno nanijeti veće količine rastaljenog dodatnog materijala)

10. Neke tipične greške pri zavarivanju MIG/MAG postupkom

A. Pukotine

R.br.	Mogući uzroci	Mjere za izbjegavanje
1.	Veliki odnos debljine prema širini zavora.	Povećati napon ili smanjiti jačinu struje zavarivanja, kako bi se povećala širina zavora i smanjila dubina uvarivanja.
2.	Suviše mali volumen rastaljenog metala, posebno pri izvođenju korijenskog zavora i donjih zavora popune.	Smanjiti brzinu zavarivanja, da bi se povećao volumen rastaljenog metala.
3.	Brzo hlađenje na kraju zavora.	Zavar popuniti propisno. Koristiti tehniku zavarivanja "korakom unazad", da bi se zavar završio na već izvedenom zavaru.

B. Ukljucci

R.br.	Mogući uzroci	Mjere za izbjegavanje
1.	Pri zavarivanju u više prolaza ukljucci tipa mjestimične troske	Dobro očistiti predhodni zavar prije izvođenja slijedećeg.
2.	Velika brzina zavarivanja (ukljucci u obliku filma)	Smanjiti brzinu zavarivanja i koristiti žičanu elektrodu sa većim sadržajem dezoksidansa. Povećati napon luka.

C. Poroznost

R.br.	Mogući uzroci	Mjere za izbjegavanje
1.	Neodgovarajuća zaštita plinom.	<ul style="list-style-type: none">- Povećati protok plina, da bi se izbacio sav zrak iz zone zavarivanja,- smanjiti protok zaštitnog plina da bi se izbjegle turbulencije i zarobljavanje zraka,- odstraniti naljepljene kapljice sa mlaznice zaštitnog plina,- eliminirati eventualni propuh od ventilatora, otvorenih vrata i sl.,- koristiti malu brzinu zavarivanja,- smanjiti rastojanje od mlaznice do OM.
2.	Nečiste žičane elektrode	Koristiti samo čiste i suhe žičane elektrode.
3.	Nečista površina OM	Odstraniti svu mast, ulje, prašinu, boju i ostale nečistoće sa OM prije zavarivanja.
4.	Napon luka suviše velik	Smanjiti napon.
5.	Preveliki razmak od mlaznice za plin do OM.	Smanjiti izvučeni dio žičane elektrode.

D. Nalijepljivanje

R.br.	Mogući uzroci	Mjere za izbjegavanje
1.	Sa površina u zoni zavarivanja nisu odstranjene nečistoće i neravnine.	Očistiti sve površine u zoni zavarivanja i eliminirati neravnine.
2.	Nedovoljna unijeta toplina.	Povećati brzinu dovođenja žičane elektrode i napon luka. Smanjiti brzinu zavarivanja.
3.	Suviše veliki nabori pri zavarivanju.	Smanjiti poprečno kretanje vrha žičane elektrode, da bi se imala bolja kontrola nad talinom.
4.	Nepropisno vođenje žičane elektrode pri zavarivanju.	Pri poprečnom kretanju vrha žičane elektrode, potrebno je se zadržati na trenutak na samoj stranici žljeba.
5.	Nepravilan oblik žljeba	Zadržati kut otvora žljeba dovoljno velik da omogući prolaz do dna žljeba. Promijeniti oblik žljeba u Y ili U oblik.

E. Loše provarivanje

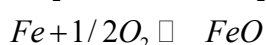
R.br.	Mogući uzroci	Mjere za izbjegavanje
1.	Loša priprema žljeba	Žljeb mora biti odgovarajući kako bi se osigurao prilaz dnu žljeba.
2.	Nepravilna tehnika rada pri zavarivanju.	Pravilna tehnika rada.
3.	Nedovoljna unijeta toplina.	Povećati brzinu dovođenja žičane elektrode u cilju povećanja jačine struje zavarivanja. Održati propisano rastojanje od mlaznice za plin do OM.

11. MAG – elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom aktivnog plina

Princip rada:

Kod MAG zavarivanja električni luk se uspostavlja kratkim spojem – kresanjem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (istosmjerne – Direct Current) u atmosferi aktivnog plina. Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk, te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja.

Kao zaštitni plin se upotrebljava najčešće ugljični dioksid CO₂ ili mješavine plinova (CO₂, Ar i O₂). Dovođenjem zaštitnog plina kroz mlaznicu, štiti se zona zavarivanja od zraka i omogućava lakše uspostavljanje zavarivačkog luka. Ugljični dioksid koji se upotrebljava kao zaštitni plin za zavarivanje je standardizirane čistoće od min. 99,8 %. Za vrijeme zavarivanja CO₂ disocira na temperaturi iznad 1200 °C, a nastali kisik reagira sa željezom. Željezni oksid FeO djelomično prelazi u trosku, a djelomično ostaje u metalu zavara kao nemetalni uključak. Da bi se spriječila oksidacija rastaljenog metala, tj. da bi se natali FeO ponovo reducirao, dodatni materijal treba sadržavati veću količinu mangana i silicija, tako da nastaju reakcije dezoksidacije:



Osnovna prednost MAG postupka zavarivanja u odnosu na MIG postupak je u ekonomičnosti. Ugljični dioksid se proizvodi u velikim količinama, pa nema problema sa opskrbom, a i cijena mu je znatno

niža od cijene argona. Kvaliteta zavarenih spojeva, dobivena MAG postupkom zavarivanja, sasvim je zadovoljavajuća.

Primjena:

MAG postupak ima široke mogućnosti primjene: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metalnih materijala. Ima prednost pred REL zavarivanjem sa stajališta ekonomičnosti (više kg/depozita na sat, veća intermitencija pogona – nema zastoja za izmjenu elektroda kao kod REL postupka, manje čišćenje zavora). Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine od 1 mm obično do debljine 20 mm (u nekim slučajevima i daleko iznad tih debljina, kada je ekonomski i tehnološki opravdana primjena MAG postupka. Kod većih debljina osnovnog materijala i veće duljine zavarenih spojeva ekonomičnije je koristiti EP postupak (samostalno ili u kombinaciji sa MAG ili REL postupkom, npr. za provarivanje korijenja). MAG postupak je izvorno poluautomatski postupak, ali se vrlo često koristi kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja. Značajan je udio robota za MAG zavarivanje u automobilskoj industriji. MAG postupak se primjenjuje uglavnom za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika, ali i obojenih metala (Cu, Al, Mg). Žice koje se upotrebljavaju kao dodatni materijal su od niskougljičnog čelika i sadrže oko 1% Si i 1,5 % Mn.

Parametri:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 16 do 35 V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru žice za zavarivanje (orijentacijske vrijednosti 40 do 500 A)
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primijenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja orijentacijski od 2 do 4 mm/s.
- potrošnja zaštitnog plina je 10-20 l/min.

Napon praznog hoda je najčešće 60 V. Stupanj iskorištenja energije za taljenje 0,75 – 0,85.

Napomena: Postoji moderna varijanta MAG postupka tzv. TIME postupak gdje su vrijednosti napona, struje i brzine zavarivanja (ali i promjera žice za zavarivanje) značajno veće u odnosu na klasični MAG. Tako su napr. za žicu promjera 2,5 mm registrirane srednje vrijednosti parametara zavarivanja: U = 40 V, I = 420 A.

Prednosti:

Poluautomatizirani MAG postupak zavarivanja ima široku primjenu u industriji (zbog prilagodljivosti u svim uvjetima rada i velike produktivnosti), pa zato sve više zamjenjuje postupak ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom. Prednosti MAG postupka su:

- visoka produktivnost koja se ogleda u smanjenju vremenskih normativa za 20-60 % u odnosu na REL,
- ekonomičnost postupka u odnosu na REL (smanjenje vremenskih normativa i manja količina unešenog dodatnog metala),
- zbog većih gustoća struje zavarivanja veća je dubina provarivanja i postiže se veća brzina topljenja DM,
- manja su zaostala naprezanja i deformacije u odnosu na REL postupak,
- mogućnost zavarivanja metala vrlo malih debljina (manje od 0,5 mm)
- razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje,
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na EP postupak zavarivanja (ali ipak nešto veća u odnosu na REL),
- pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju, te reparaturna zavarivanja,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- manji gubici vremena zavarivača (nema izmjene elektrode kao kod REL zavarivanja, manje čišćenje zavora),
- pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- kvalitetan zavar i dobra mehanička svojstva zavora.

Nedostaci:

- kvaliteta zavora još uvijek ovisi o vještini zavarivača – čovjeka kod poluautomatskog zavarivanja (ali ipak ne toliko kao kod REL zavarivanja),
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je kraće nego kod REL zavarivanja (mada je praksa da MAG zavarivači prvo nauče REL postupak zavarivanja),
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju plinovi (potrebna dobra ventilacija

prostora),

- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...).
- osjetljivost postupka pri zavarivanju na otvorenom prostoru gdje se povećava strujanje zraka, pa dolazi do otpuhivanja zaštitnog plina što otežava zavarivanje i pogoršava kvalitet zavara.

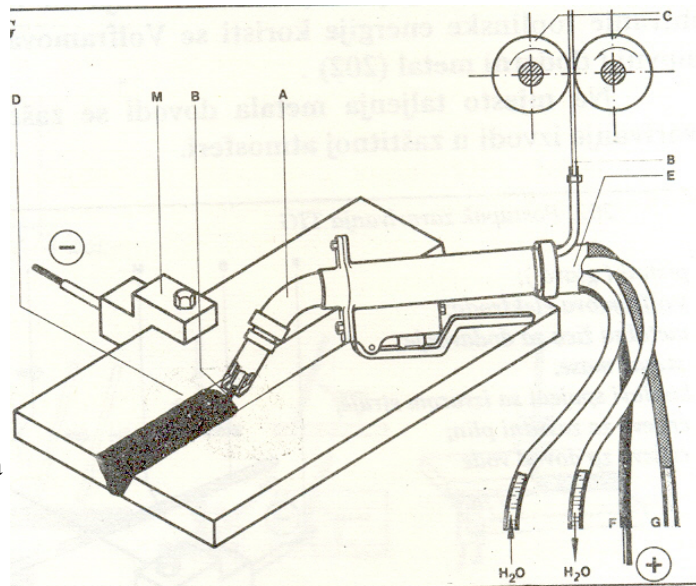
12. MIG – elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina

Princip:

Električni luk se uspostavlja kratkim spojem – kresanjem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (istosmjerne – Direct Current ili izmjenične – Alternating Current)... Nakon toga sljedi ravnomjerno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk (elektromotor, valjci za ravnanje i povlačenje ili potiskivanje žice), te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja. Elektroda za zavarivanje je gola žica u kolutu odgovarajućeg materijala.

MIG postupak zavarivanja se izvodi najčešće u zaštiti inertnog plina argona, a rjeđe helija. Zbog inertne atmosfere ne nastaju kemijske reakcije između rastaljenog metala i zaštitnog plina.

- A – pištolj
B – žica za dodavanje
C – pokretač žice
D – zaštitni plin
E – savitljivo crijevo
F – električni kabel
G – crijevo za dovod zaštitnog plina
H – crijevo za dovod vode
M – stezač mase



Slika 35. MIG postupak zavarivanja

Primjena:

MIG postupak ima široke mogućnosti primjene: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja aluminijskih legura i drugih nerđajućih materijala i legura (zavarivanje obojenih metala, visokolegiranih čelika i drugih metala koji se lako vežu s kisikom). Kao dodatni materijal upotrebljava se žica odgovarajućeg sastava, ovisno o vrsti materijala koji se zavaruje. On se uglavnom uspoređuje sa TIG postupkom. Ima prednost pred TIG zavarivanjem sa stajališta ekonomičnosti (više kg/depozita na sat). Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine od 1 mm obično do debljine 20 mm (u nekim slučajevima i daleko iznad tih debljina, kada je ekonomski i tehnološki opravdana primjena MIG postupka). MIG postupak je izvorno poluautomatski postupak, ali se vrlo često koristi kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja.

Parametri:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 16 do 26 V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru žice za zavarivanje

(orijentacijske vrijednosti 80 do 180, A)

- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja orijentacijski od 2 do 4 mm/s.

Napon praznog hoda je najčešće 60 V. Stupanj iskorištenja energije za taljenje 0,75 – 0,85.

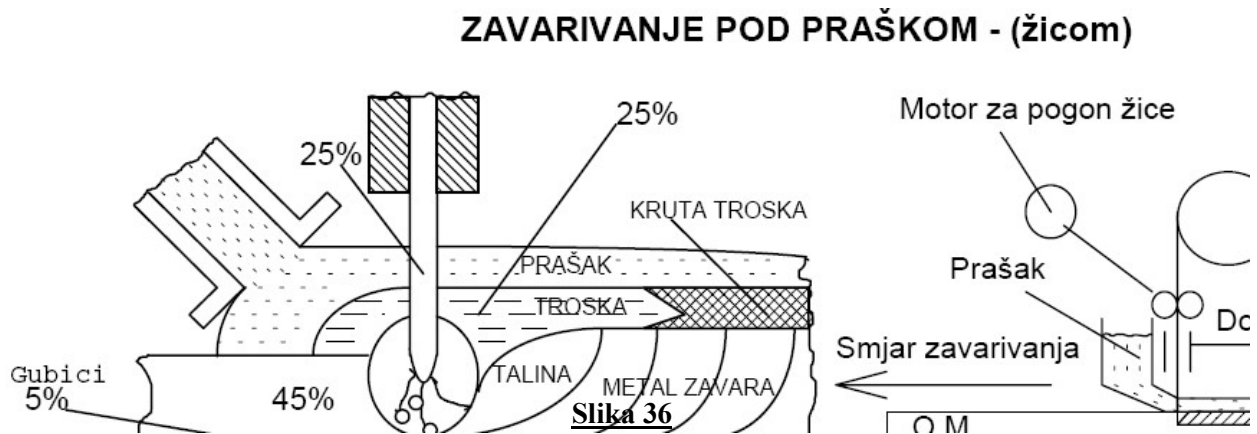
Prednosti:

- razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje,
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na TIG postupak zavarivanja,
- pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju, te reparaturna zavarivanja,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- daleko veća učinkovitost (kg depozita/h) u odnosu na TIG zavarivanje.

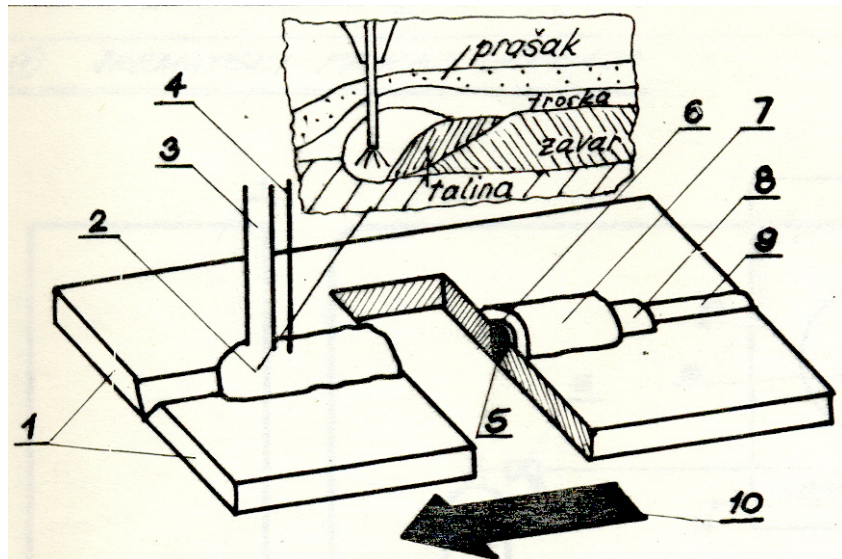
Nedostaci:

- kvaliteta zavaresnog spoja još uvijek ovisi o vještini zavarivača – čovjeka kod poluautomatskog zavarivanja,
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je kraće nego kod TIG zavarivanja (mada je praksa da MIG zavarivači prvo nauče REL postupak zavarivanja),
- kvaliteta zavarenog spoja je slabija u odnosu na kvalitetu TIG zavarenih spojeva (kako sa estetskog stajališta, tako i sa stajališta grešaka u zavarenom spoju i mehaničkih svojstava zavarenog spoja),
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora),
- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...)

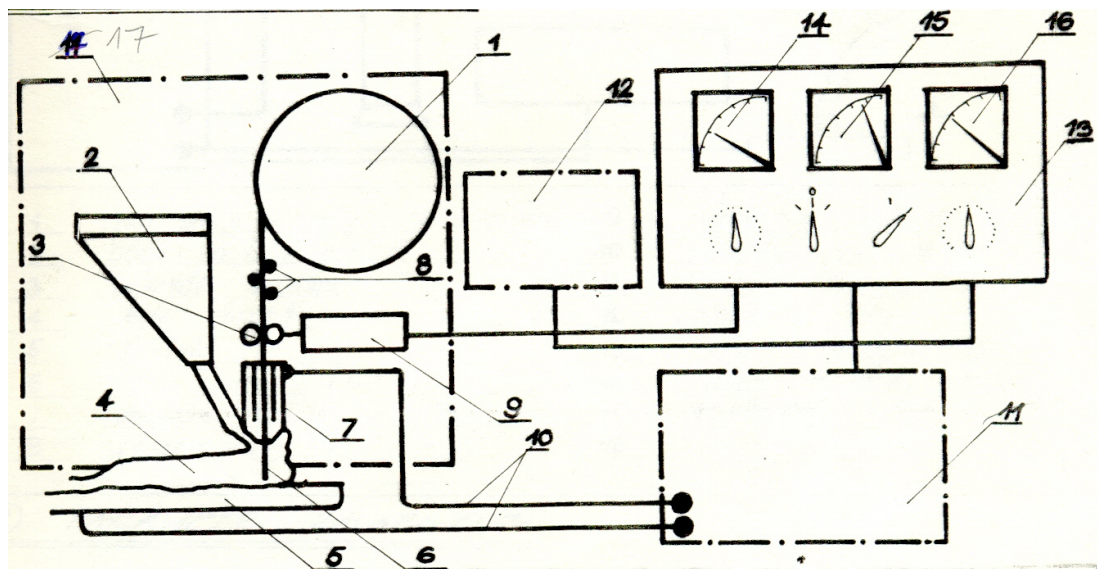
13. EP - elektrolučno zavarivanja pod zaštitom praška



- 1 – radni komad
- 2 - kupka zavora
- 3 – dovod praška
- 4 - žica
- 5 – presjek zavora
- 6 – presjek sloja troske i praška
- 7 - prašak
- 8 - troska
- 9 – lice zavora
- 10 – smjer zavarivanja



Slika 37. Shematski prikaz postupka EP zavarivanja



Slika 38. Shematski prikaz uređaja za EP zavarivanje

- 1-kolut sa žicom; 2-spremnik za prašak; 3-pogonski kotač žice; 4-prašak; 5-radni komad; 6-elektroda;
- 7-kontaktna sapnica; 8-kotači za ravnanje žice; 9-elektromotor; 10-zavarivački kabeli; 11-izvor struje;
- 12-signalizator pokretanja žice; 13-upravljački ormar; 14-voltmetar; 15-ampermetar; 16-mjerač brzine zavarivanja; 17-kolica (traktor)

EP postupak može biti poluautomatski (bez traktora) i automatski postupak (ima pokretna kolica – traktor). Dodatni materijal je žica koja je namotana na kolut i kontinuirano se dovodi do mjesta zavarivanja. Pomoćni materijal je prašak koji kontinuirano dolazi iz koša. U toku zavarivanja prašak se otapa i stvara zaštitnu trosku koja pokriva i štiti rastaljeni metal. Prašak sprečava pristup kisiku i dušiku iz zraka u zavar. Troska koja nastaje iz praška apsorbira okside te zavar ostaje metalno čist. Nakon zavarivanja nerastaljeni prašak se pokupi usisavačem. Glavna odlika ovog postupka su zavari visoke kvalitete, a nedostatak je što je postupak primjenjiv samo u horizontalnom položaju.

Ispred električnog luka i žičane elektrode dozira se granulirani prašak u sloju odgovarajuće debljine. Žičana elektroda se kontinuirano dovodi u električni luk pomoću kotačića. Kristalizacija rastopljenog metala dovodi do stvaranja zavarenog šava. Očvrsnuti prašak stvara trosku u obliku kore na površini šava. Zahvaljujući visokoj produktivnosti i visokoj kvaliteti zavarenih spojeva, ovaj postupak ima vrlo široku primjenu u industriji za zavarivanje različitih konstrukcija od čelika različitog sastava, te obojenih metala i njihovih legura. Uvjeti rada su poboljšani jer nema zaštite očiju i lica zavarivača i smanjuje se količina

izdvojenih štetnih plinova u procesu zavarivanja. Glavni nedostatak elektrolučnog zavarivanja pod praškom odnosi se na njegovu mogućnost zavarivanja samo u horizontalnom položaju, zbog mogućnosti otjecanja rastopljenog praška i rastopljenog metala već pri kutovima iznad 10-15 °.

Princip:

Električni se luk uspostavlja pomoću visokofrekventnog generatora (VF generator) koji se uključuje samo u djeliću sekunde, neposredno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka, VF generator se isključuje, žica za zavarivanje kontinuirano dolazi u električni luk, tali se i sudjeluje u formiranju zavarenog spoja. Proces se odvija pod zaštitnim praškom. To je automatski postupak zavarivanja.

Primjena:

EP postupak se koristi za zavarivanje i navarivanje gdje se traži velika količina deponiranog materijala (zavara) ili kod velikoserijske proizvodnje (napr. kružni zavareni spojevi na propan/butan bocama za domaćinstvo). Zavarivanje se izvodi u horizontalnom položaju (iznimka Circomatic postupak – zavarivanje kružnih zavarenih spojeva na cilindričnim posudama pod tlakom u zidnom položaju). Značajna je primjena ovog postupka kod zavarivanja debelostjenih posuda pod tlakom, te debelostjenih limova (npr. postolja lokomotiva, sekcije mostova),

Parametri:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 26 do 40 V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru elektrode (od 100 A do 1000 A; prema nekim literaturnim podacima i do 5000 A). Zbog manje duljine slobodnog kraja žice moguće je iste promjere žice za zavarivanja opteretiti puno većim strujama nego kod REL postupka (gdje je duljina slobodnog kraja praktično duljina elektrode koja se koristi za zavarivanje).
- brzina zavarivanja (v), je značajno veća u odnosu na REL i MAG postupak (orijentacijske vrijednosti 200 do 600 mm/min).

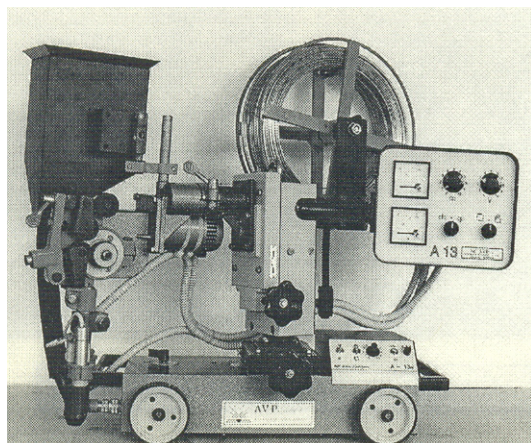
Napon praznog hoda je 100 V (veći nego kod REL postupka iz razloga što se kod EP postupka teže uspostavlja električni luk).

Prednosti:

- velike brzine zavarivanja i daleko veća produktivnost u odnosu na REL i MAG postupak zavarivanja,
- budući da se radi o automatskom postupku zavarivanja, kvaliteta ne ovisi o čvjeku – operateru (jednom uspostavljeni parametri zavarivanja daju konstantnu kvalitetu zavarenih spojeva),
- visok stupanj iskorištenja energije za taljenje (0,9 - 0,95),
- kvalitetan estetski izgled zavara,
- nema otpada žice (»čik-a«), te gubitaka zbog prskanja kapljica u okolinu,
- lako čišćenje troske i mogućnost recikliranja troske,
- vrijeme za izobrazbu operatera je puno kraće od izobrazbe dobrog zavarivača za REL.

Nedostaci:

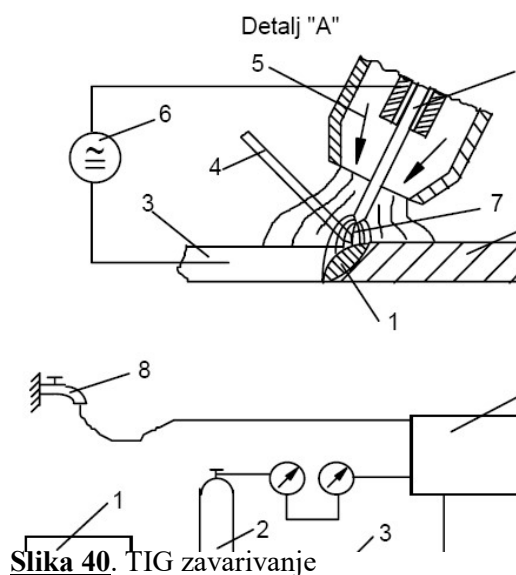
- veća cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MAG i REL postupak zavarivanja,
- slabija mehanička svojstva zavarenog spoja u odnosu na REL i MAG zavarivanje (brže hlađenje veće količine deponiranog materijala),
- nema vizualnog nadzora električnog luka tijekom zavarivanja (velike jakosti struje daju svjetlost velike intenzivnosti pa u obzir dolazi nadzor X-zrakama i video kamerama),
- u tehnološkoj liniji koja koristi EP automate obično je potrebna dodatna mehanizacija (okretaljke, okretno-nagibni stolovi, pozicioneri, konzole, ...),



Slika 39. EP automat

14. TIG - elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina

TIG zavarivanje

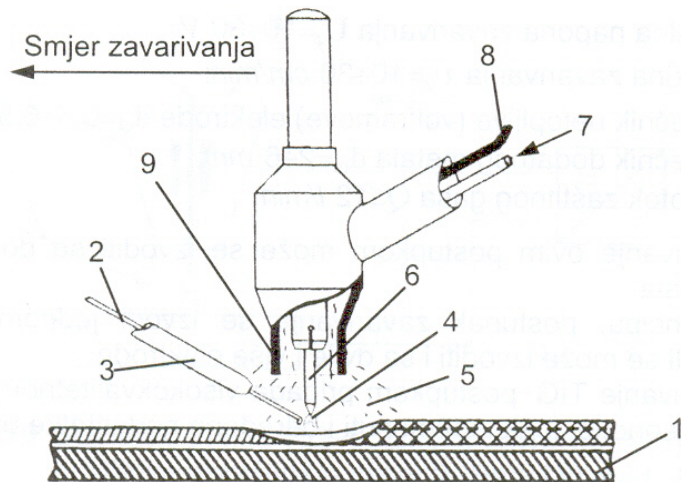


Slika 40. TIG zavarivanje

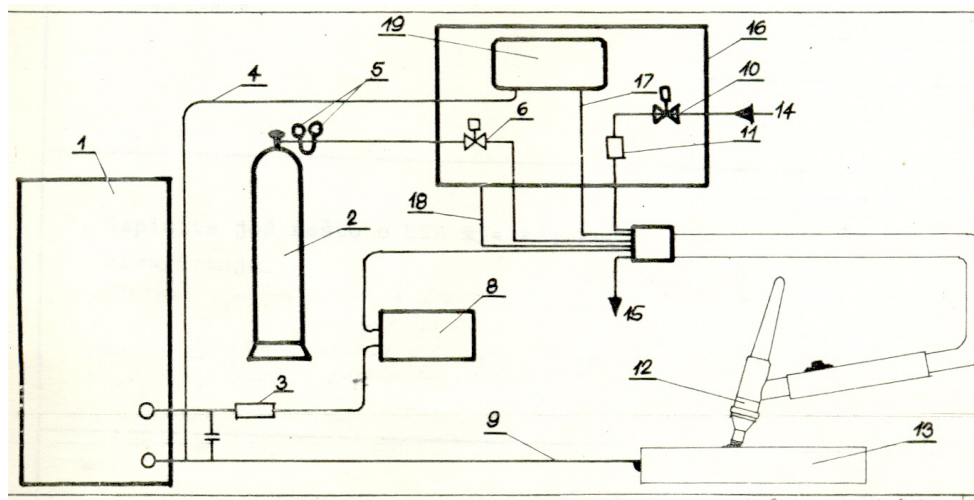
1. zavar
2. i 3. osnovni materijal
4. dodatni metal (žica za zavarivanje)
5. zaštitni plin (najčešće Ar)
6. izvor struje zavarivanja
7. električni luk
8. Volframova elektroda - netopiva

1. izvor struje zavarivanja
2. boca zaštitnog inertnog plina (Ar)
3. kondenzator
4. komandna ploča
5. pištolj za zavarivanje
6. paket crijeva (za zaštitni plin i rashladnu vodu) i strujnog kabela
7. dodatni metal (žica za zavarivanje)
8. slavina za rashladnu vodu

- 1 – podložna ploča od bakra
- 2 – dodatni metal
- 3 – vodilica dodatnog metala
- 4 – zavarivački luk
- 5 – zaštitni plin (argon)
- 6 – Volframova elektroda
- 7 – ulaz zaštitnog plina
- 8 – strujni kabel
- 9 – mlaznica zaštitnog plina



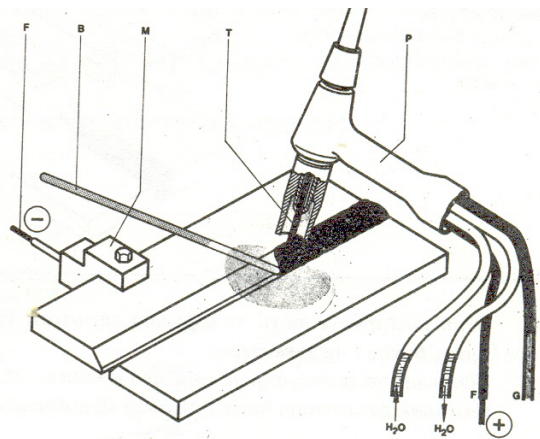
Slika 41. Prikaz TIG postupka zavarivanja



Slika 42. Shematski prikaz uređaja za TIG zavarivanje

- 1-izvor struje; 2-boca s plinom (argon); 3-zaštitni kondenzator; 4-kebel visoke frekvencije; 5-regulacioni ventil; 6-magnetski ventil; 8- kondenzator izmjenične struje; 9-kabel za masu; - 10-magnetski ventil za rashladnu vodu; 11-osigurač; 12-pištolj; 13-radni komad; 14-ulaz rashladne vode; 15-izlaz rashladne vode; 16-upravljački ormarić; 17-kabel visoke frekvencije; 18 kabel visoke frekvencije; 19-generator visoke frekvencije

Zona utjecaja topline, električni luk i zagrijana volframova elektroda zaštićeni su od dodira sa zrakom omotačem zaštitnog inertnog plina dovedenog kroz pištolj za zavarivanje, odnosno kroz mlaznicu zaštitnog plina (najčešće argon). Pri ručnom TIG-postupku zavarivanja, dodatni metal u obliku šipke drži se u ruci i dodaje sa strane u električni luk. Dovođenje žice kao dodatnog metala može biti i mehanizirano. Zavisno od debljine osnovnog metala i načina oblikovanja šava, podložna ploča od bakra se može, ali i ne mora koristiti. Šav nastaje stapanjem zavarivanih krajeva i dodatnog metala i to pod djelovanjem topline električnog luka. Pištolj za zavarivanje sadrži u sebi netopivu volframovu elektrodu (nema koluta sa žicom) i može biti sa prisilnim (vodenim) hlađenjem ili bez prisilnog hlađenja (zračno hlađenje). Ovo je fin i skup postupak zavarivanja koji se koristi za korjenske zavare (tamo gdje se ne može prići s druge strane (cjevovod), jer dobro protali zavar. Vođenje držača (pištolja) i dodavanje žice može biti ručno ili automatski. Zavareni spojevi su vrlo kvalitetni, imaju lijep izgled i čistu površinu. Pri zavarivanju visokolegiranih čelika, bakra i nikla i njihovih legura, koristi se istosmjerna struja. Pri zavarivanju aluminija, magnezija i njihovih legura koristi se izmjenična struja.



Slika 43. TIG postupak zavarivanja

P-pištolj; T-Volframova elektroda; B-metalna žica za dodavanje;
M-stezač mase; F-kabeli za struju; G-krijevo za zaštitni plin;
H-krijevo za dovod vode



Slika 44. Uređaj za TIG zavarivanje

Princip:

Električni luk se uspostavlja pomoću visokofrekventnog generatora (VF generator) koji se uključuje samo u djeliću sekunde, neposredno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka između netaljive volframove elektrode i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (istosmjerne – Direct Current ili izmjenične – Alternating Current), VG generator se isključuje, a proces zavarivanja se odvija sa ili bez dodavanja dodatnog materijala (žice) u električni luk. Nakon toga sljedi taljenje ivica žlijeba za zavarivanje (kod materijala manje debljine – I spoj), odnosno ravnomjerno ručno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk, te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja (kod debljih materijala ili kod provarivanja korijena debelih materijala).

Primjena:

TIG postupak se također široko primjenjuje: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja aluminijских legura i drugih nehrđajućih materijala i legura. On se uglavnom uspoređuje sa MIG i plazma postupkom zavarivanja. Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine do 6 mm. Najčešće se taj postupak primjenjuje za zavarivanje limova i posuda tanjih stijenki, za sučeono zavarivanje cijevi i cijevi uz cijevnu stijenku, za zavarivanje aluminija i nehrđajućih čelika, te za metale i legure koji su teško zavarivi drugim postupcima. TIG postupak je izvorno ručni postupak. Koristi se i kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja, ali je primjena tih uređaja kompleksnija i skuplja.

Generalno gledano TIG-postupak se ne koristi za zavarivanje metala sa niskom točkom taljenja, kao što su olovo, kalaj, legure cinka i sl. Zavarivanje TIG-postupkom može se izvoditi sa dodatnim metalom (dodavanjem žice za zavarivanje) ili bez dodatnog metala.

Parametri:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 10 do 30 V;
 - jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o vrsti i debljini materijala koji se zavaruje (orijentacijske vrijednosti 10 do 500 A)
 - brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja, vrsti i debljini materijala koji se zavaruje, te parametrima zavarivanja (orijentacijski od 10 do 30 cm/min).
- Stupanj iskorištenja energije za taljenje 0,20 – 0,65.

Prednosti:

- Kvaliteta zavarenog spoja vrlo visoka (kako u pogledu broja grešaka u zavarenom spoju, tako i sa stajališta estetskog izgleda i mehaničkih svojstava zavara),
- pogodan za reparaturna zavarivanja,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,

Nedostaci:

- Viša cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MIG postupak zavarivanja,
- kvaliteta zavara još uvijek ovisi o vještini zavarivača ,
- nije pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je dugo (mada je praksa da TIG zavarivači prvo nauče REL i MAG/MIG postupak zavarivanja),
- daleko manja učinkovitost (kg depozita/h) u odnosu na MIG i plazma zavarivanje. (sporiji)
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora),
- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...)