

MIG-MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA

Knjiga namijenjena je učenicima trogodišnjih strukovnih škola Obrazovnog sektora strojarstvo, brodogradnja i metalurgija u zanimanjima alatničar, automehaničar, autolimar, instalater kućnih instalacija, plinoinstalater, bravar, tokar i drugi.

Obrađena poglavlja u Knjizi vezana su za osnove postupka MIG-MAG zavarivanja koje su potrebne svakom učeniku za upoznavanje pojmova i znanja o načinima praktične primjene i uporabe ovog postupka u pogonima i strojevima.

Aktivnosti u knjizi doprinose ostvarenju odgojno-obrazovnih ishoda iz područja zavarivanja.

Ovom knjigom učeniku je omogućeno da:

- samostalno određuje koje su mu informacije potrebne
- samostalno može procijeniti što zna, a što tek treba naučiti (samo vrednuje proces učenja i svoje rezultate, procjenjuje ostvareni napredak te na temelju toga može planirati buduće učenje).
- razvija temeljna znanja, vještine i kompetencije u području zavarivanja
- se osposobi za zanimanje u određenom području

Suautori:

Ivana Šutalo Dujmenović, dipl. ing. str.

Vesna Turk, dipl. ing. str.

Meri Ružević, dipl. ing. str.

SADRŽAJ:

1. UVOD

1.1. Zaštitne mjere i sredstva zaštite

2. UREĐAJI, OPREMA I ALAT ZAVARIVAČA MIG-MAG POSTUPKOM

2.1. Parametri kod MAG zavarivanja

2.2. Prednosti MAG zavarivanja

2.3. Nedostatci MAG zavarivanja

2.4. Princip rada

2.5. Osnovna oprema industrijskog, automatskog MAG sustava

2.5.1. Dodavač žice

2.5.2. Ventili

2.5.3. Hlađenje

3. PRIPREMANJE METALNIH DIJELOVA KONSTRUKCIJE ZA ZAVARIVANJE

3.1. Vrste crteža

3.2. Označavanje i predstavljanje zavarenih spojeva na crtežu

3.3. Žlijeb

3.4. VRSTE SPOJEVA

3.5. POLOŽAJI PRI ZAVARIVANJU

3.6. OSNOVNA OZNAKA NA CRTEŽIMA

3.7. NEKE OD NAJČEŠĆIH OZNAKA NA NAŠIM CRTEŽIMA

4. ZAVARIVANJE MIG-MAG POSTUPKOM

4.1. Plinovi za zavarivanje

4.2. Materijali kod MIG-MAG zavarivanja

4.3. Način prijenosa kapljica u zavarivanju

4.3.1. Prijenos metala kratkim spojevima

4.3.2. Prijenos metala prijelaznim lukom

4.3.3. Prijenos metala štrcajućim lukom

4.3.4. Prijenos metala impulsnim lukom

4.4. Utjecaj struje i napona

4.5. Žice za zavarivanje

4.6. Uređaji za dobavu žice

4.7. Položaj pištolja za zavarivanje

4.8. Zona utjecaja topline

5. Prednosti i nedostaci MIG postupka zavarivanja
- 5.1. Suho podvodno zavarivanje
6. ZAVARIVANJE MIG-MAG AUTOMATIZIRANIM POSTUPKOM
- 6.1. Automatizirani zavarivački sustavi
- 6.2. Robotizacija zavarivanja
7. GREŠKE ZAVARIVANJA I KONTROLA ZAVARNIH SPOJEVA
- 7.1. Nepravilnosti (greške) u zavarenom spoju
- 7.2. Otklanjanje grešaka
- 7.3. KONTROLA ZAVARA
8. ZAVRŠNA OBRADA ZAVARENOG SPOJA
- 8.1. Brušenje
- 8.2. Pjeskarenje
9. ODRŽAVANJE I KONTROLA OPREME
10. OČUVANJE OKOLIŠA
11. MJERE ZAŠTITE OD DJELOVANJA PLINOVA I DIMNIH PLINOVA PRI ZAVARIVANJU
12. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA
13. PITANJA ZA PONAVLJANJE
14. Literatura

1. UVOD

MIG/MAG zavarivanja je elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi. To je **postupak** spajanja metala **taljenjem i očvršćivanjem dijela osnovnog metala i dodatnog metala** pri čemu se za **zaštitu rastopljenog metala** koriste **inertni i aktivni plinovi ili njihove mješavine**. U ovisnosti od vrste zaštitnog plina elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom se skraćeno označava kao **MAG (Metal Aktivni plin)** ili **MIG (Metal Inertni plin)**, pri čemu se kod **MAG postupka kao zaštita koristi CO₂ (ugljični dioksid)** ili mješavina plinova koja se **ponaša kao aktivni plin**, a kod **MIG postupka Ar, He (argon, helij)** ili mješavina plinova koja se ponaša **kao inertni plin**.

Zavarivanje se obavlja ručnim vođenjem plamenika (djelomično automatiziranog) ili mehaniziranog (vođenje plamenika kolicima) ili automatskog, također s prilagodljivim aparatom za zavarivanje.

Pogodan je za zavarivanje metala debljine do nekoliko milimetara, ovisno o vrsti materijala. Prvenstveno se koristi za zavarivanje tračnih vozila (aluminijske legure), plovila, posuda za prehrambenu industriju (NiCr, Al), cijevi (NiCr, Al), nehrđajućeg čelika, za navarivanje sjedišta ventila i drugo.

1.1. Zaštitne mjere i sredstva zaštite

- Kod zavarivanja potrebna su **osobna zaštitna** sredstva koja su propisana zakonom. Tim zakonom svaki poslodavac je dužan organizirati i provoditi zaštitu na radu, vodeći pri tome računa o prevenciji rizika te obavještavanju, osposobljavanju, organizaciji i sredstvima.
- Važno je naglasiti da se zaštitna sredstva moraju pravilno koristiti kako ne bi došlo do ikakvih povreda kod zavarivača.

Obavezna uporaba štitnika za zavarivanje

- Norma HRN EN 175:2002- za štitnik, odnosno masku za zavarivanje propisuje: veličine, područje pokrivanja, čvrstoću, otpornost na oštećenje pri ispadanju, reflektanciju i prigušenje svjetlosti, električnu izolaciju, otpornost na zapaljenje, otpornost na koroziju i maksimalnu masu.
- Ovisno o tome da li zavarivač pri zavarivanju koristi obje ruke ili jednu, maska može biti naglavna ili ručna. Zaštitna maska osim za zaštitu očiju, služi i za zaštitu lica od

prskanja, opekotina, troske i slično. Ako kod zavarivanja prijeti jače prskanje, tu su maske koje na sebi sadrže i kožnu zaštitu za lice i vrat. U masku je ugrađen prozorčić koji je iznutra zatvoren tamnim staklom, a na vanjskoj strani prozirnim staklom. Jaka svjetlost uzrokuje neugodnost, suzenje i umor očiju, smanjenje vida, smanjuje prepoznatljivost i kontrast. Najvažniji dio zaštitne opreme kod zavarivača je njegova maska koja ga štiti od zračenja, opekotina te sitnih čestica prašine i troske. Maske se izrađuju prema EN, te su propisane za različite postupke rada.



naglavna



ručna



Slika 1. Maska

Obavezna uporaba cipela s kapicom

- ▶ Pod zaštitnu opremu za zavarivanje spadaju i cipele s čeličnom kapicom, koja služi za zaštitu od oštećenja kože na nogama. Prilikom zavarivanja postoji mogućnost pada nekog elementa na nogu radnika, iskrenja koje može zapaliti običnu obuću, što može naštetiti samom zavarivaču, zato su te cipele i obavezna zaštitna oprema kod takvih radova.

Obvezna uporaba zaštitne kacige

- ▶ Zaštitne kacige obavezne su na svim radnim mjestima gdje postoji opasnost od ozljede uzrokovane padajućim elementima, gdje je ograničen radni prostor (kod zavarivanja tu spada zavarivanje pod posebnim uvjetima) te postoji opasnost od udara glavom u opremu ili predmete, za zaštitu od dodira s električnim vodovima ili dijelovima pod naponom, za zaštitu glave u radnoj okolini s povišenom temperaturom, odnosno svuda gdje postoji opasnost od ozljeda glave.



Slika 2. Zaštitna odjeća

1-naočale

2-rukavice

3-pregača

4-cipele

Obvezna zaštita ruku kod zavarivanja

- ▶ Postoji velika opasnost od opekotina koje nastaju od rasprsnutih čestica metala pri čemu su ruke izložene mogućim ozljedama. Zbog toga je potrebno omogućiti zavarivaču pravilnu zaštitu za ruke, čemu služe zaštitne rukavice.
- ▶ Osim zaštitnih rukavica, postoje i zaštitne pregrade ili paravani, koji su vatrootporni i štite svakog zavarivača koji radi u blizini kako ne bi iskre i sitne čestice prskale i tako štetile ostalim radnicima.



Slika 3. Zaštitni paravan

OPĆENITO

- 4 smrtna slučaja na 1000 radnika u radnom vijeku u zavarivanju, rezanju i srodnim procesima (OSHA)
- vjerojatna je kontaminacija materijalima i supstancama koje imaju dalekosežne posljedice na zdravlje
- često se zanemaruju eventualne opasne situacije
- nepoznavanje osnovnih činjenica o utjecaju različitih procesa i fenomena
- zanemarivanje i nepridržavanje osnovnih smjernica o zaštiti na radu
- opasnosti se moraju prepoznati, procijeniti i kontrolirati
- nužno je poštivati zakonske odredbe, smjernice i preporuke za siguran rad

2. UREĐAJI, OPREMA I ALAT ZAVARIVAČA MIG-MAG POSTUPKOM

- ▶ Uređaj za MIG/MAG zavarivanje je isti za **OBA** postupak zavarivanja.
- ▶ Pogonski sistem dodaje žicu konstantnom brzinom kroz cijevni paket i pištolj u električni luk.
- ▶ Kod **MAG** zavarivanja najčešće se koriste pune žice promjera od **0,6 mm do 2,4 mm**, a žice od čeličnih materijala su pobakrene ili poniklane zbog boljeg električnog kontakta i zaštite od korozije.
- ▶ Površina žice mora biti glatka, dimenzija vrlo točna te mora biti pravilno namotana na kolut kako bi se osigurala konstantna dobava žice.

2.1. Parametri kod MAG zavarivanja:

- jakost struje I (A) - razmjerna s brzinom dobave žice v (m/min),
- napon električnog luka U (V) - razmjernan s visinom električnog luka,
- brzina zavarivanja v (mm/min),

- slobodni kraj žice l (mm)
- protok plina Q (l/min) i vrsta plina,
- induktivitet L (H - henri),
- promjer žice d (mm),
- nagib pištolja α (°).

2.2. Prednosti MAG zavarivanja:

- primjenjiv za zavarivanje svih vrsta materijala,
- velika mogućnost izbora parametara i načina prijenosa materijala,
- zavarivanje u svim položajima,
- zavarivanje u radionici i na terenu,
- mogućnost primjene različitih plinskih mješavina,
- mogućnost primjene praškom punjene žice,
- široki raspon debljina osnovnog materijala,
- visoka učinkovitost i proizvodnost,
- pogodan za automatizaciju.

2.3. Nedostatci MAG zavarivanja:

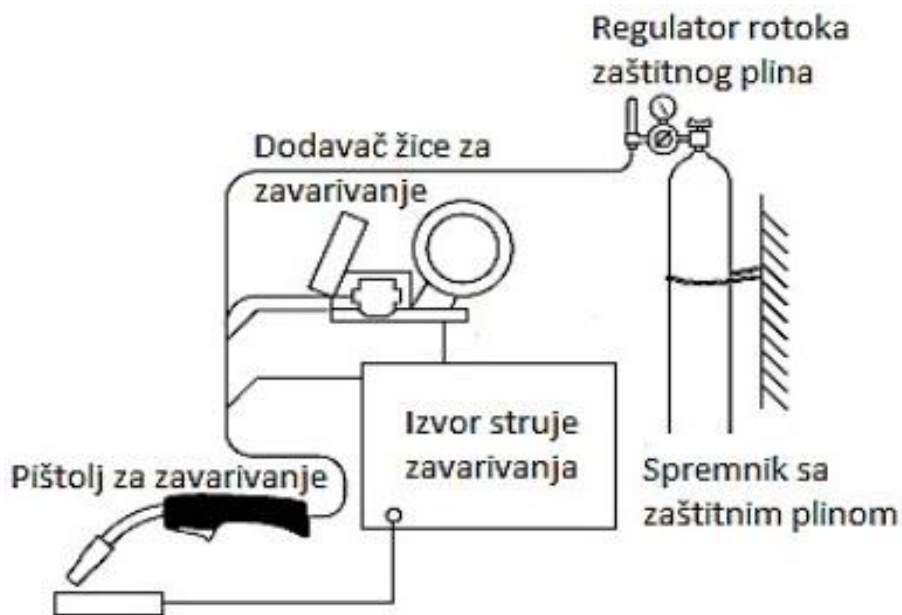
- kod rada na terenu moguće su greške (vjetar može otpuhivati zaštitni plin),
- problemi kod dovođenja žice (pogotovo ako je duljina polukabla veća od 3 m),
- veći broj grešaka uslijed neodgovarajuće tehnike rada i parametara zavarivanja (naljepljivanje, poroznost),
- štrcanje kod zavarivanja kratkim spojevima (gubici i potrebna naknadna obrada zavarenog spoja),
- složeniji uređaji (automatsko dovođenje žice, regulacija visine električnog luka, mikroprocesorsko upravljanje).

2.4. Princip rada

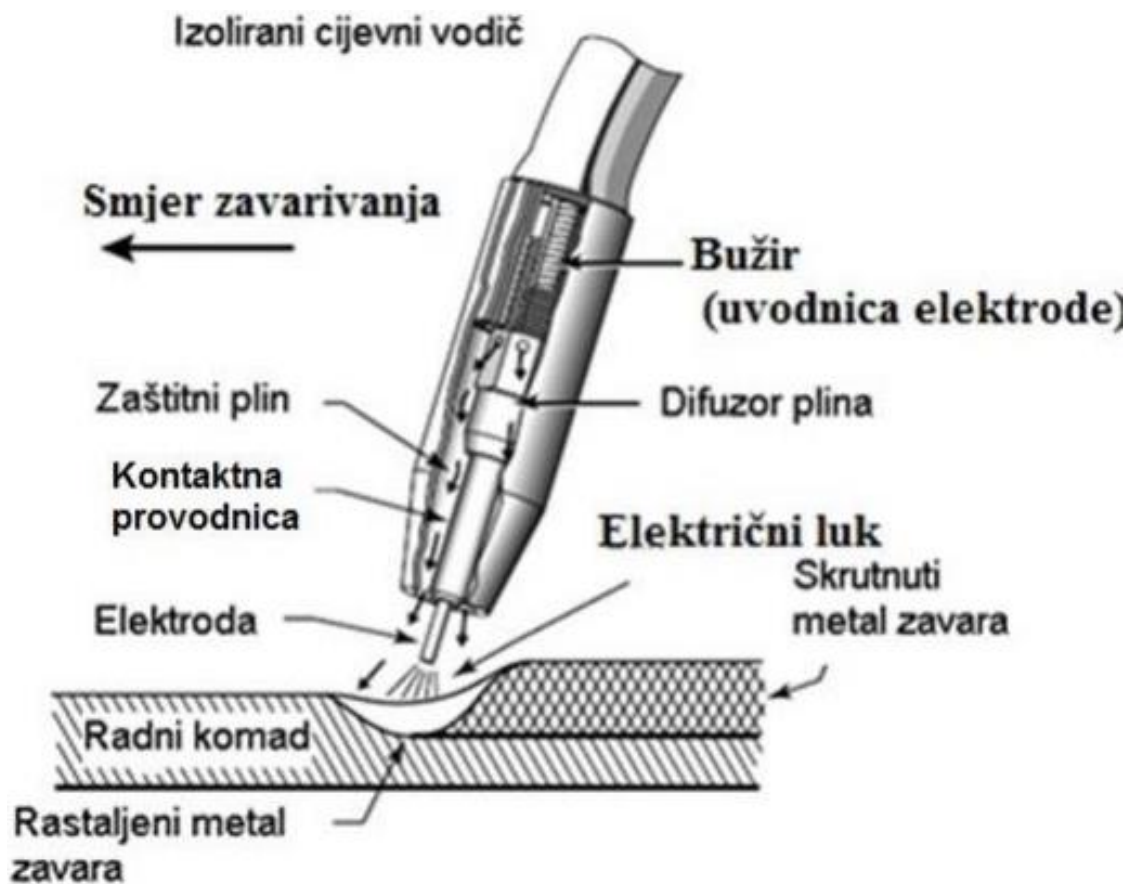
- ▶ **MAG** ili Metal Active Gas i **MIG** ili Metal Inert Gas postupci su zavarivanja kod kojih do taljenja metala dolazi djelovanjem topline električnog luka uspostavljenog između konstantno dobavljane elektrode kao dodatnog materijala i radnog komada.
- ▶ Procesi se vrše u zaštitnoj atmosferi aktivnih ili inertnih plinova odnosno plinskih mješavina koje struje kroz sapnicu. U okviru MAG zavarivanja razlikuju se MAGC (Metal Active Gas Carbon) i MAGM (Metal Active Gas Mixture) postupci. Kod MAGC, kao zaštitni plin, koristi se čisti CO₂, a kod MAGM, plinske mješavine sa značajnim udjelom aktivnog plina.

2.5. Osnovna oprema industrijskog, automatskog MAG sustava

- izvor struje,
- oprema za dovod žice (kolut za namatanje žice, elektromotor i pogonski kotačići),
- plinska boca s pokazateljem tlaka i regulatorom protoka zaštitnog plina,
- spremnik sredstva za hlađenje pištolja,
- izolirani polukabel (žica dodatnog materijala, bakreni vodič za struju, crijevo za zaštitni plin, crijevo za rashladno sredstvo),
- pištolj za zavarivanje,
- sustav za automatsko pomicanje pištolja (robot ili automat)
- zaštitna oprema za djelatnike.



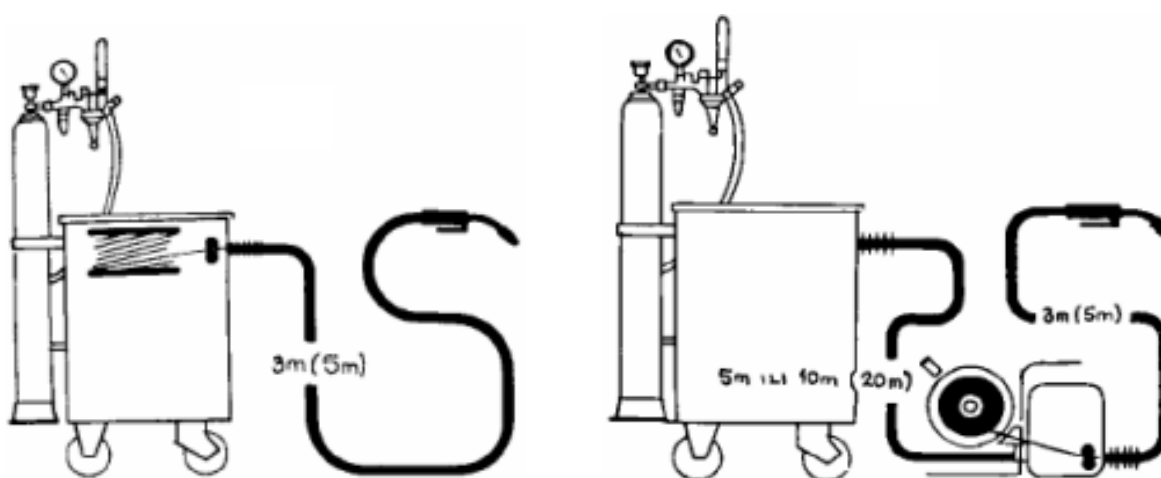
Slika 4. Uređaj za elektrolyčno zavarivanje u zaštitnom plinu



Slika 5. Shema poprečnog presjeka pištolja za zavarivanje

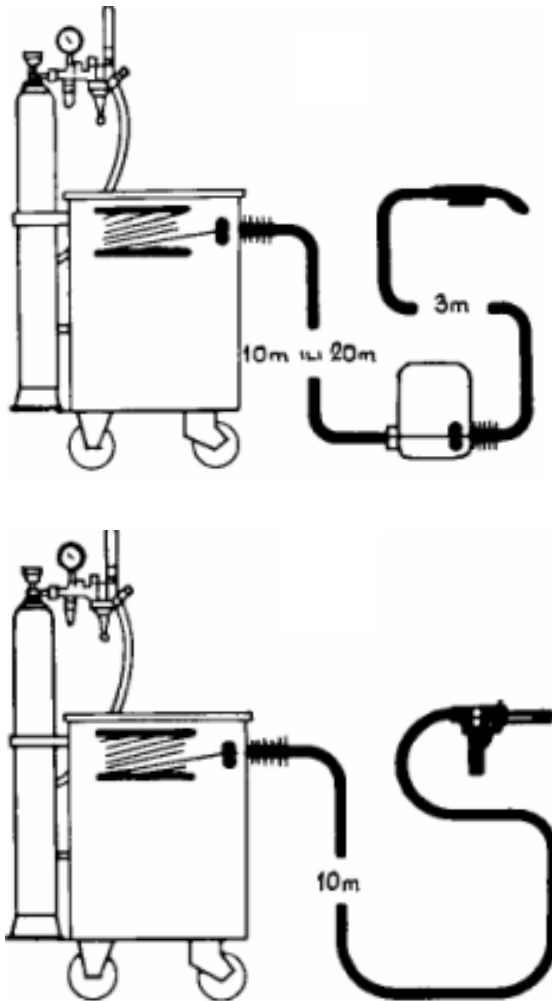
2.5.1. Dodavač žice

- ▶ Dodavač žice je uređaj koji dovodi žicu od uređaja do pištolja, a postoji nekoliko izvedbi uređaja i sustava za dovod žice do pištolja.
- ▶ **Kabinski sustav** se primjenjuje kada se radi na jednom radnom mjestu, koje je nepokretno. Na kabelu je naznačeno za koje su radne udaljenost predviđeni pojedini sustavi za dovodenje žice. Kolut žice i pogonski mehanizam smješteni su u kućištu uređaja.



Slika 6. Kabinski sustav dodavanja žice

- ▶ **Univerzalni sustav**, se primjenjuje na različitim radnim mjestima i za velike radne komade. Mehanizam za dovod žice i kolut žice smješteni su izvan kućišta uređaja.
- ▶ **Tandemski uređaj** ima dva pogonska mehanizma. Jedan mehanizam je u kućištu uređaja uz kolut žice, a drugi je između uređaja i pištolja u blizini radnog mjesta. Ovaj uređaj se primjenjuje za rad na različitim radnim mjestima, velikim radnim komadima i nepristupačnim radnim komadima.



Slika 7. Tandemski uređaj dodavanja žice

- ▶ **„Push – pull“ sustav** ima dva mehanizma za dodavanje žice, kao i tandemski. Jedan mehanizam je u kućištu uređaja, a drugi je u pištolju (taj mehanizam vuče žicu, a ne gura je). „Push – pull“ sustav se primjenjuje za rad na nepristupačnim radnim mjestima.

2.5.2. Ventili

Uređaji koji se koriste kod MIG/MAG zavarivanja su uglavnom **elektronički**.

Kontroliraju izvor struje, protok plina, brzinu dobave žice.

Ovakvi uređaji još služe za mjerenje i upravljanje parametrima.

Kod regulacije protoka zaštitnog plina postoje dva sustava:

- **reducirani ventil**
- **elektromagnetski ventil.**

- ▶ Reducirani ventil se priključuje na bocu s plinom, dok je elektromagnetski smješten oko uređaja za dobavu žice.



Slika 8. Ventil

Reducirani

Magnetni

2.5.3. Hlađenje

- ▶ Osnovni alat svakog zavarivača je pištolj. Pištolj za MIG/MAG zavarivanje ovisi o jačini uređaja te vrsti zavarivanja. Izrađuje se u dvije varijante: zračno i vodeno hlađenje.
- ▶ U električnom luku se nalazi sam vrh pištolja i izloženiji je mehaničkim i toplinskim naprezanjima. Pištolj je dio opreme koji spada u potrošni materijal, a dijelovi se mijenjaju po potrebi. Potrošni dijelovi su plinska sapnica i kontaktna vodilica koji su lako zamjenjivi. Pištolji su konstruirani da omogućuju lagano korištenje, te da su lagani za manipulaciju i izdržljivi.
- ▶ Preporučljivi su pištolji hlađeni zrakom jer ne zahtijevaju dobavu vode.



Slika 9. Pištolj hlađen zrakom

- ▶ Hlađeni vodom imaju više struje zavarivanja. Maksimalna struja pištolja je 600A.



Slika 10. Pištolj hlađen vodom

3. PRIPREMANJE METALNIH DIJELOVA KONSTRUKCIJE ZA ZAVARIVANJE



3.1. Vrste crteža

- *ponudbeni crtež* - prilaže se uz pismenu ponudu
- *radionički crtež* - crtež prema kojem se izrađuje objekt
- *sklopni crtež* - prikazuje pojedine sklopove koji sačinjavaju funkcionalnu cjelinu
- *instalacijski crtež* - prikazuje razvod električnih ili cijevnih vodova
- *sastavni ili montažni crtež* - prikazuje način sastavljanja cjelovitog uređaja
- *situacijski crtež* - prikazuje položaj objekta u određenom prostoru

3.2. Označavanje i predstavljanje zavarenih spojeva na crtežu

- Crtež zavarene konstrukcije mora sadržavati podatke potrebne za njenu izradu, kao što je način pripreme žlijeba, geometrijske mjere šava i tehniku zavarivanja. Da bi se ovi podaci prikazali što jednostavnije definirani su način predstavljanja i oznake zavarenih spojeva, koje se sastoje od grafičke i brojne oznake. Grafička oznaka definira pripremu žlijeba i oblika šava, tablica 2, oblik spojne površine.

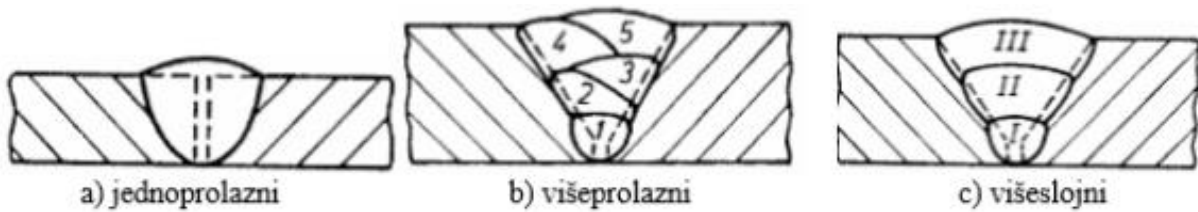
► **Tablica 1 - Oznake najčešće korištenih žljebova i nazivi odgovarajućih šavova**

red. br	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
oznaka			∇	∇	Y	Y	P	X	K	⋈	△	
naziv šava	rubni	I	V	HV	Y	U	J	X	K	duplo U	ugaoni	navar

► **Tablica 2 - Prikaz najčešće korištenih žljebova i odgovarajućih šavova**

naziv	izgled žlijeba	izgled šava	naziv	izgled žlijeba	izgled šava
rubni			U		
I			J		
V			X		
HV			K		
Y			duplo U		

► **Slika 11. Vrste šavova**



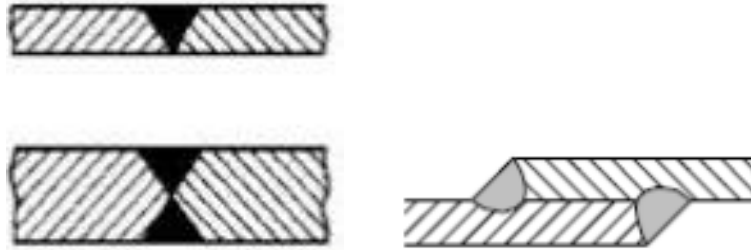
3.3 Žlijeb

- Žlijeb čine obrađeni ili neobrađeni, najčešće, rubni dijelovi osnovnog metala, na mjestu pripremljenom za njihovo spajanje, odnosno izvođenje zavarivanja.
- Oblik i dimenzije žlijeba mogu biti različiti, a odabir odgovarajućeg oblika žlijeba ovisit će o debljini materijala koje treba zavariti, primijenjenom postupku zavarivanja, položaju zavarivanja, vrsti i namjeni spoja, i drugo.
- Priprema žljebova za zavarivanje može se izvoditi mehaničkom obradom ili rezanjem različitim postupcima. Kod mehaničke obrade, priprema rubova izvodi se posebnim strojevima i prikladnim alatom, npr. noževima, diskovima, škarama i dr., koji daju traženi oblik rubova zavarivanih dijelova.
- U praksi se najčešće koristi rezanje plinskim plamenom, a zastupljeni su i postupci rezanja plazmom, laserskim snopom, te elektrolučno rezanje ugljenom ili šupljom čeličnom elektrodom, uz dovođenje stlačenog zraka. Kod rezanja plinskim plamenom, primjenjuje se poseban plamenik za rezanje i odgovarajuća mješavina plinova, najčešće kisika i acetilena (ili butane). Samo rezanje i priprema rubova može se izvoditi ručno ili strojno.

3.4. VRSTE SPOJEVA

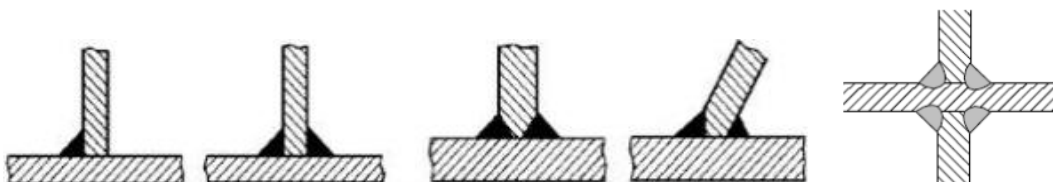
- **Sučeljni spoj** - nastaje zavarivanjem dijelova čiji se krajevi sučeljavaju i međusobno zatvaraju kut koji može biti između 160° i 200° , a najčešće je 180° . Dimenzija šava određena je debljinom osnovnog metala. Rubovi spoja moraju biti pripremljeni pažljivo, da bi se omogućilo dobro protaljivanje uz minimalne deformacije i naprezanja u spojevima. Jednostavno se provjerava i rendgenski snima, a zavarivanje se može izvoditi s jedne strane ili dvostrano.

- ▶ **Preklopni spoj** -priprema spoja preklapanjem rubova je jednostavna i ne zahtijeva posebno točno podešavanje dijelova koji se spajaju. Preklopni spoj zavaren s obje strane može biti podvrgnut znatno većim opterećenjima od spoja zavarenog samo s jedne strane.



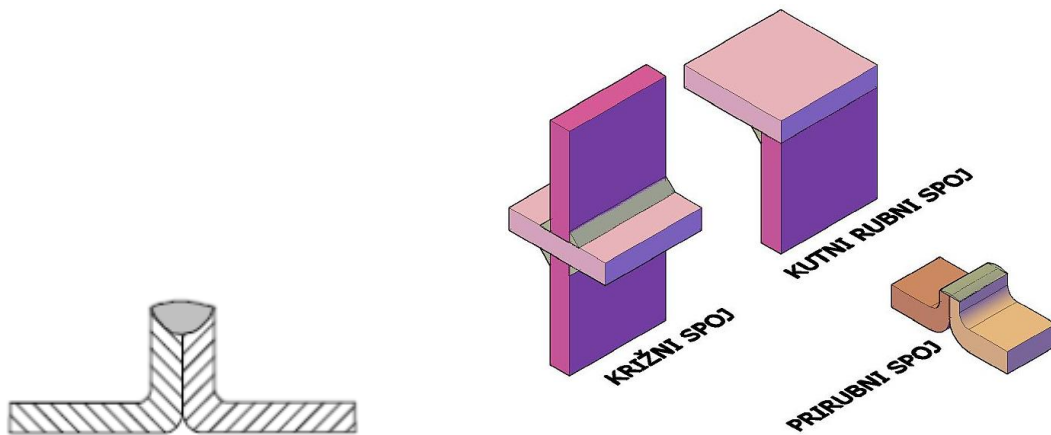
Slika 12. Sučeljni i preklopni spoj

- ▶ **Kutni spoj** - može biti izveden zavarivanjem samo s jedne strane ili s obje strane, a prikladan je za zavarivanje relativno debljih dijelova. Izvedba kutnog spoja moguća je bez skošenja stranice ruba zavarivanog elementa, a isto tako s jednostranim ili dvostranim skošenjem. Kutni spoj s jednostranim skošenjem obično se koristi kod spajanja limova debljine do 12 mm, kada se zavarivanje izvodi samo s jedne strane, dok su kutni spojevi s dvostranim skošenjem primjereni za debljine do 40 mm, i više.
- ▶ **Križni spoj** - najčešće se koristi kod većih metalnih konstrukcija, npr. brodova i raznih kutijastih konstrukcija s unutrašnjim uzdužnim i poprečnim elementima.



Slika 13. Kutni, posebni i križni spoj

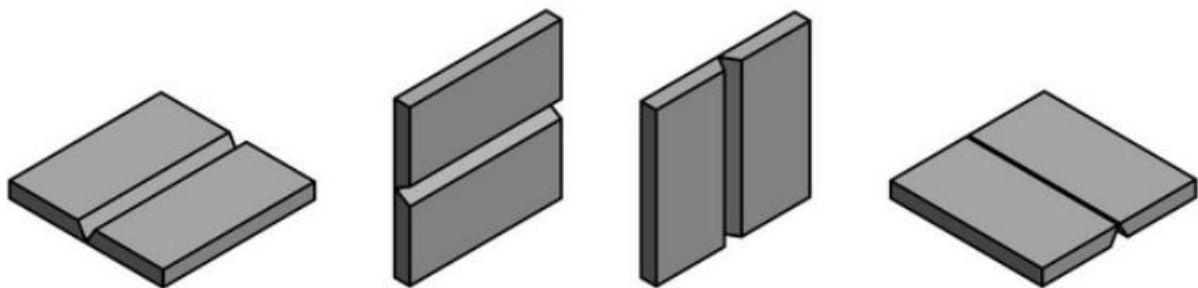
- ▶ **Kutni rubni spojevi** nalaze svoju primjenu, najčešće, u sklopovima pojedinih strojnih dijelova, kućišta, kutijastih konstrukcija, i slično.
- ▶ **Prirubni spojevi** prvenstveno se koriste za tanke limove, do najviše 4 mm debljine, te za manje opterećene spojeve. Kod takvog se rješenja spajanja, posebnim prirubljivanjem limova, dobiva ukupna širina polja za polaganje zvara jednaka dvostrukoj debljini spajanih dijelova, a to predstavlja znatno olakšanje zavarivaču pri vođenju izvora topline i kontroliranju taline.



Slika 14. Prirubni spoj

3.5. POLOŽAJI PRI ZAVARIVANJU

- Postoji više položaja u prostoru u kojima je moguće izvesti zavarivanje, a osnovni položaj je horizontalni.



Horizontalni

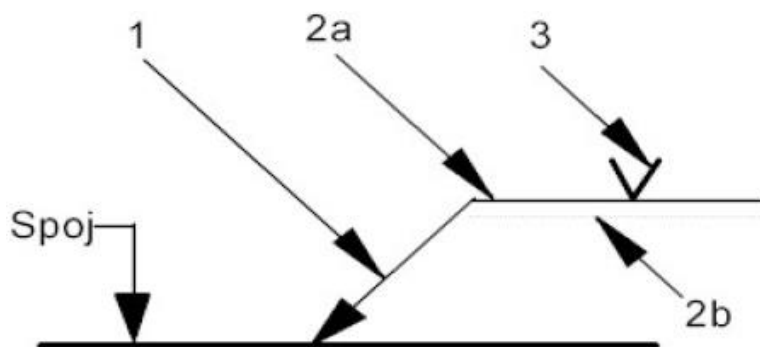
Horizontalni-vertikalni

Slika 15. Položaji zavarivanja

Vertikalni

Nadglavni

3.6. OSNOVNA OZNAKA NA CRTEŽIMA



Slika 16. Oznake na crtežima

1– strelica 2a– neprekidna (referentna) crta 2b– prekidna (identifikaciona) crta 3– oznaka šava

- Oznaka 3 (dopunska oznaka) označava oblik površine šava:

Oblik površine šava	Oznaka
a) ravna (obično obrađena)	—
b) ispupčena	⌒
c) izdubljena	⌒

Tablica 3 – Oblik površine šava

Isprekidani zavari :

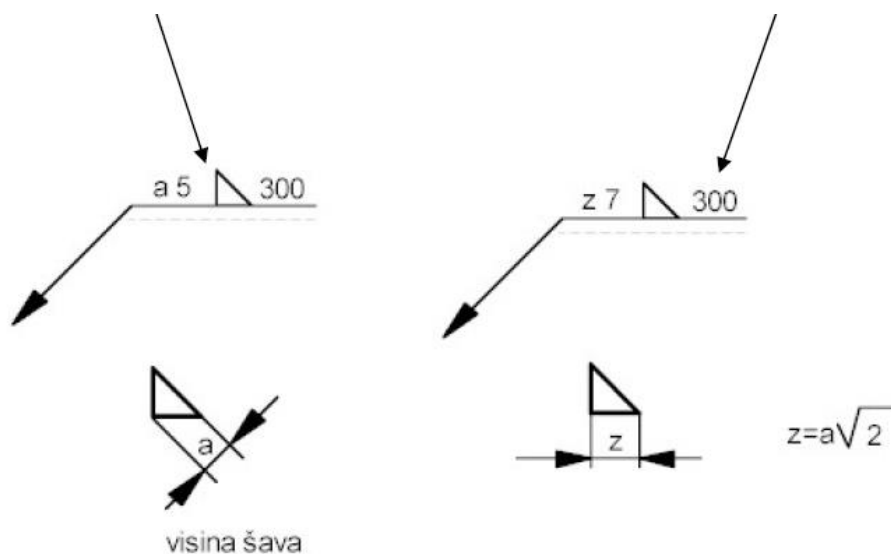
- ▶ n - broj zavara
- ▶ l – dužina zavara
- ▶ e – dužina
- ▶ Kružić označava da je zavar – šav „oko cijele konture“
- ▶ Zastavica označava „Montažni zavar“.

n x 1 (e)



Slika 17. isprekidani zavari

3.7. NEKE OD NAJČEŠĆIH OZNAKA NA NAŠIM CRTEŽIMA



Slika 18. Oznaka za kutni zavar

a – visina šava

i oznaka za dužinu zavara

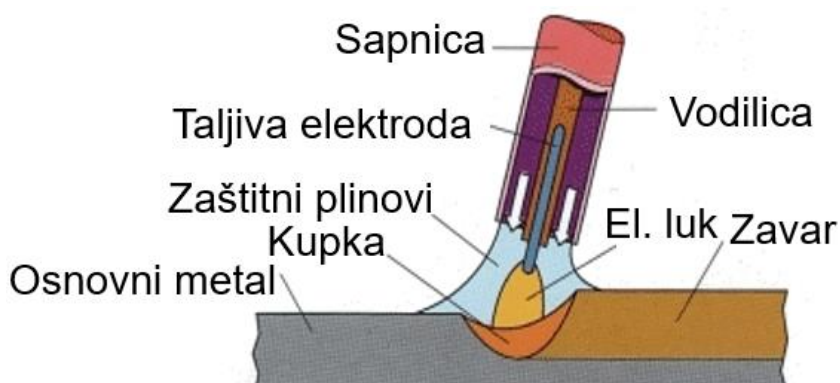
z – širina šava

4. ZAVARIVANJE MIG-MAG POSTUPKOM

4.1. Plinovi za zavarivanje

Odabir zaštitnog plina ključan je za kvalitetu zavarenog spoja. Zaštitni plin utječe na mehanička i metalurška svojstva zavarenog spoja, a njegov odabir vrši se na temelju sljedećih kriterija:

- vrsti dodatnog materijala,
 - željenim mehaničkim svojstvima zavarenog spoja,
 - debljini osnovnog materijala,
 - pripremi zavara,
 - stanju osnovnog materijala (korozija, antikorozivne prevlake, masnoće),
 - željenom načinu prijenosa metala u električnom luku,
 - položaju zavarivanja,
 - željenom profilu zavara itd.
- ▶ Kad se kao zaštitni plinovi koriste neutralni ili inertni plinovi, npr. argon, helij ili mješavina plinova onda se ovaj postupak naziva **MIG** (Metal Inert Gas).
 - ▶ Kada se kao zaštitni plin koriste aktivni plinovi, najčešće **CO₂** i njegove mješavine s drugim plinovima, onda se postupak naziva **MAG** (Metal Active Gas).



Slika 19. Prikaz postupka zavarivanja MIG/MAG

- ▶ Tri su osnovna parametra za razumijevanje svojstava zaštitnih plinova:

ionizacijski potencijal, toplinska vodljivost i reaktivnost plina.

- ▶ Plinovi koji se koriste pri **MAG** zavarivanju su: ugljični dioksid (CO₂) te dvokomponentne i trokomponentne mješavine argona (Ar), ugljičnog dioksida (CO₂), kisika (O₂) i Helija (He) dok je moguća pojava vodika (H₂) i dušika (N₂) u manjim postotcima.

- ▶ **Argon (Ar)**

Najčešće korišten inertni plin. Ima nisku energiju ionizacije što za posljedicu ima profil zavara u obliku „prsta“ te lakše paljenje luka. Glavni je sastojak plinskih mješavina za MAG zavarivanje.

- ▶ **Helij (He)**

Ima visoku toplinsku vodljivost što za posljedicu ima profil zavara koji je širi ali uz manju penetraciju.

- ▶ **Ugljični dioksid (CO₂)**

Inertan pri sobnoj temperaturi, ali u električnom luku postaje aktivan plin. Povećanjem udjela CO₂ u mješavini povećava se iznos kritične struje zavarivanja, smanjuje se stabilnost luka, povećava se štrcanje i gubitak metala. U manjem omjeru u mješavini s argonom pridonosi stabilnosti luka i smanjuje kritičnu struju zavarivanja te se postiže dobro kvašenje taline i oblik zavara u obliku „prsta“.

- ▶ **Kisik (O₂)**

U malim količinama 1-5% u mješavini s argonom pruža dobru stabilnost luka i odličan izgled zavara.

- ▶ **Vodik (H₂)**

U malim količinama 1-5% u mješavinama s argonom služi kao zaštitni plin pri zavarivanju nehrđajućih čelika i legura nikla. Velika toplinska vodljivost rezultira poboljšanim kvašenjem i omogućuje veće brzine zavarivanja.

4.2. Materijali kod MIG-MAG zavarivanja

- ▶ MIG/MAG zavarivanje se najčešće primjenjuje kod zavarivanja obojenih metala, zavarivanja tankih limova, visokolegiranih čelika i drugih metala koji se vežu s kisikom.
- ▶ To je izuzetno brza metoda zavarivanja koja je primjenjiva na sve vrste metala, u svim položajima, moguće ju je automatizirati, odnosno robotizirati.
- ▶ MIG/MAG aparati za varenje kao i vezana oprema su relativno skupi.

4.3. Način prijenosa kapljica u zavarivanju

- ▶ Kod zavarivanja MAG postupkom poznata su četiri načina prijenosa metala u električnom luku:
 - prijenos metala kratkim spojevima,
 - prijenos metala prijelaznim lukom,
 - prijenos metala štrcajućim lukom i
 - prijenos metala impulsnim lukom.
- ▶ Način prijenosa metala u električnom luku ovisi, o naponu, jakosti struje, vrsti zaštitnog plina, polaritetu i dodatnom materijalu.

4.3.1. Prijenos metala kratkim spojevima

- ▶ Prijenos metala kod kojeg se kontinuirano dobavljana žica tali uslijed kratkih spojeva. Prijenos materijala se događa kad je elektroda (žica) u kratkom spoju s osnovnim materijalom ili talinom. To je proces kod kojeg je karakterističan mali unos topline. Na uspješnost ovog načina prijenosa metala utječe promjer elektrode i vrsta zaštitnog plina. Pri prijenosu metala kratkim spojevima, u usporedbi s ostalim načinima, koristi se manji napon i manja jakost struje zavarivanja.
- ▶ Karakteristične vrijednosti napona kreću se od 13 do 21 V dok se struje zavarivanja kreću od 50 do 170 A. Broj ciklusa pri ovom načinu prijenosa metala dostiže i 200 ciklusa/sekundi.

- ▶ Zbog malog unosa topline posebno je pogodan za zavarivanje tanjih materijala (0,6-5,0 mm), a često se koristi pri zavarivanju korijena kod cjevovoda.
- ▶ Elektrode koje se koriste pri ovom načinu prijenosa metala promjera su od 0,6 mm do 1,1 mm u zaštitnoj atmosferi 100% CO₂ ili u mješavini sa 75-80% argona s 25-20% CO₂. Moguće su još mješavine argona i O₂ ili kod nekih posebnih aplikacija mješavine s tri komponente: argon, CO₂ i O₂.
- ▶ Prednosti ovog načina prijenosa metala su: mogućnost zavarivanja u svim položajima, dobro podnosi greške u pripremi zavara, manje deformacije zavara uslijed manjeg unosa topline, velika iskorištenost elektrode - više od 93%.
- ▶ Ograničenja ovakvog prijenosa metala su: kod rada na terenu potrebno zaštititi područje zavarivanja od utjecaja vjetra, pojava pretjeranog štrcanja i nedovoljno protaljivanje ako nije dobra kontrola procesa, samo za tanje materijale.

4.3.2. Prijenos metala prijelaznim lukom

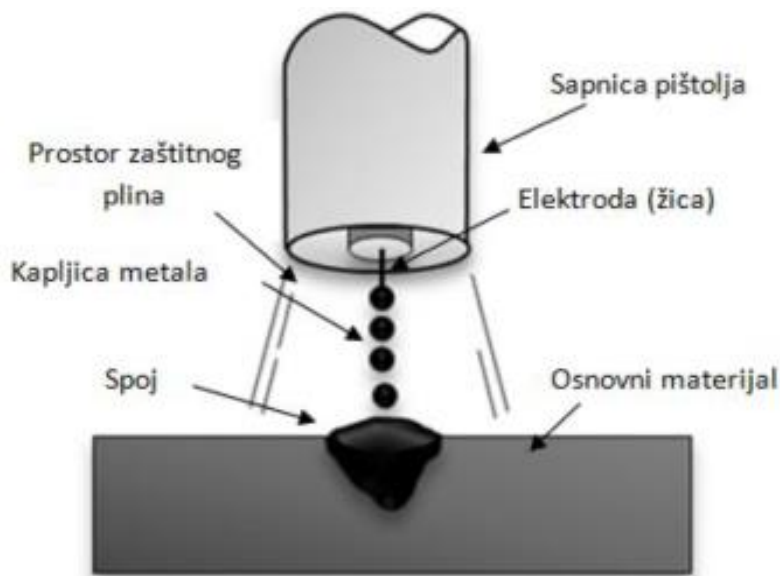
- ▶ Način prijenosa kod kojeg se kontinuirano dobavljana žica tali uslijed kombiniranog djelovanja kratkih spojeva i načina prijenosa metala štrcajućim lukom. Kapljice u prijelaznom luku su veće, nepravilno oblikovane te imaju veći promjer od promjera elektrode što je posljedica većeg napona (22-25 V) i veće struje zavarivanja (170-235 A). Ovaj način karakterizira teška kontrola procesa i puno prskanja. Najčešće se upotrebljava u zaštitnoj atmosferi 100% CO₂ ali i plinskoj mješavini argona i CO₂.
- ▶ Danas se više ne koristi i uspješno je zamijenjen prijenosom metala impulsnim lukom.
- ▶ Prednosti ovog načina prijenosa su: uporaba jeftini zaštitni plin i plinske mješavine, mogućnost zavarivanja velikim brzinama, jeftini dodatni materijal, jeftina oprema za zavarivanje.
- ▶ Ograničenja ovog načina su: skupa naknadna obrada zbog prskanja te manja iskorištenost elektrode (87-93%).

4.3.3. Prijenos metala štrcajućim lukom

- ▶ Način prijenosa metala u električnom luku kojeg karakterizira velik unos topline pri čemu se kontinuirano dobavljana žica tali uslijed te topline i u obliku malih kapljica,

slobodnim padom, putuje duž električnog luka bez da elektroda dodiruje radni komad.

- ▶ Odabir ovog načina prijenosa ovisi o debljini osnovnog materijala i mogućnosti zavarivanja u određenim, povoljnim, položajima.
- ▶ Naziv je dobio zbog toga što te male kapljice padaju aksijalno na radni komad.
- ▶ Parametri zavarivanja su veći nego kod prethodnih načina prijenosa metala i iznose: za napon: 25-40 V i za struju zavarivanja: 200-600 A.

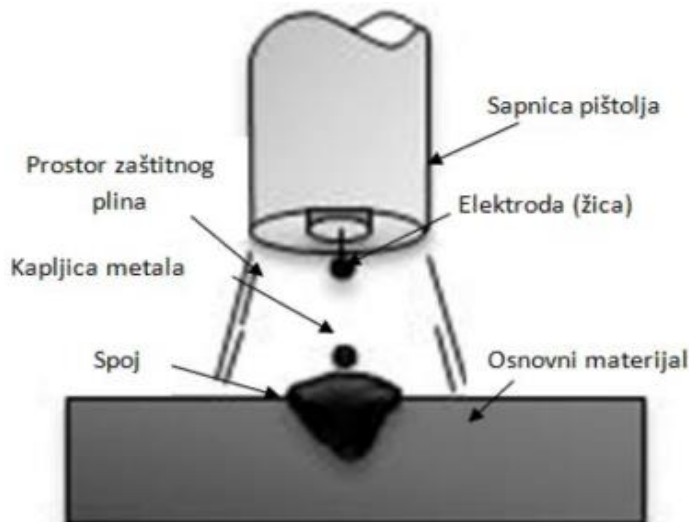


Slika 20. Štrcajući luk

- ▶ Da bi se postigao način prijenosa štrcajućim lukom koriste se plinske mješavine: argon+1,5% O₂ i argon + CO₂ (gdje % CO₂ mora biti manji od 18%). Duboka penetracija dobiva se plinskom mješavinom od 95% argona + 5% O₂ dok se plinskim mješavinama u kojima ima više od 10% CO₂ zavar zaobljuje i ima manju penetraciju. Prijenos metala štrcajućim lukom koristi se za zavarivanje ugljičnih čelika, visokolegiranih čelika kao i legura nikla.
- ▶ **Prednosti** ovog načina su: velik depozit, velika iskorištenost elektrode (više od 98%), mogućnost korištenja širokog spektra dodatnih materijala i velikog raspona promjera žice, nema prskanja i ne zahtijeva naknadno čišćenje, vrlo lako za automatiziranje.

- **Nedostaci** ovog postupka su: ograničenost u vidu položaja zavarivanja, zaštitni plinovi su skuplji nego kod prijašnjih načina i mogućnost primjene samo na debljim materijalima.

4.3.4. Prijenos metala impulsnim lukom



Slika 21. Impulsni luk

- Visoko kontrolirana verzija štrcajućeg luka.
- Izvori struje generiraju promjenjiv oblik struje (mijenja se od vršne vrijednosti do vrijednosti osnovne struje) tj. impuls. Kad je iznos struje maksimalan tj. kad dosegne vršnu vrijednost impulsne struje jedna kapljica se odvaja i putuje slobodnim padom duž električnog luka. Nakon toga vrijednost struje pada na osnovnu vrijednost koja osigurava stabilnost električnog luka i srednju vrijednost unosa topline. Frekvencija impulsnog zavarivanja proporcionalno raste s brzinom dovođenja žice. Kombinacijom ta dva parametra regulira se srednja struja zavarivanja koja omogućuje zavarivanje širokog spektra debljine osnovnog materijala impulsnim lukom.
- Elektrode koje se koriste pri ovom načinu prijenosa materijala su: pune elektrode (promjera od 0,8 mm do 1,6 mm) i praškom punjene elektrode (promjera od 1,1 mm do 2,0 mm).
- Ovaj način prijenosa postiže se samo plinskim mješavinama bogatim argonom, dok se kod ugljičnih čelika mogu koristiti plinske mješavine s maksimalno 18% CO₂.

- ▶ **Prednosti** ovog načina su: izostanak ili vrlo malo prskanja, smanjene deformacije uslijed manjeg unosa topline, mogućnost automatiziranja, moguće velike brzine zavarivanja, velika iskorištenost elektrode.
- ▶ **Nedostaci** su: oprema je skuplja nego kod prijašnjih metoda, zaštitne plinske mješavine su skuplje, dodatna zaštita zavarivača zbog veće energije električnog luka.

4.4. Utjecaj struje i napona

Jakost struje

- ▶ Jakost struje ovisi o vrsti materijala (radnog komada), debljini i položaju zavarivanja. Struja ima značajan utjecaj na sam izgled zavara. Kada su ostali parametri konstantni, jačina struje ovisi o brzini dodatnog materijala tj. brzini dobave žice, ali i promjeru same žice.
- ▶ Ako žica ima veću dobavnu brzinu mora biti i veća jakost struje, ali i ako je veći promjer žice. Time će se dobiti širi zavar.
- ▶ Ovisnost brzine dovođenja žice, odnosno topljenja žice i jakosti struje je linearna za manje vrijednosti struje, dok kod većih struja postaje nelinearna.
- ▶ Povećanje jačine struje zavarivanja, odnosno brzina dovođenja dodatnog materijala uz konstantne ostale parametre dovodi do povećanja dubine protaljivanja i nadvišenje zavara i samog izgleda, oblika zavara.

Pod a) mala struja, b) srednja struja i c) visoka struja.



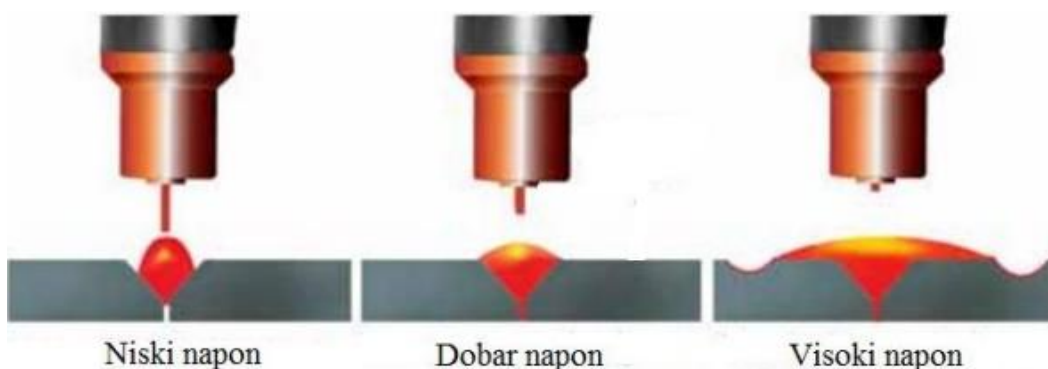
Slika 22. Povećanje dubine protaljivanja ovisno o struji
 a) mala struja b) srednja struja c) visoka struja

Utjecaj napona

- ▶ Kao struja i napon utječe na samu kvalitetu zavarivanja, odnosno na kvalitetu zavarenog spoja. Napon električnog luka utječe na dubinu protaljivanja, širinu i nadvišenje zavara.
- ▶ Povećanjem napona električnog luka dobiva se širi zavar i manje provarivanje, dok smanjenjem dobivamo uži zavar, veće nadvišenje zavara i veću dubinu protaljivanja.
- ▶ Tipične vrijednosti napona koje se koriste za zavarivanje različitih metala u ovisnosti od vrste zaštitnog plina za prijenos metala kratkim spojem i promjera žice 0.8 mm te za prijenos metala:

VRSTA MATERIJALA (metala)	NAPON (V)			
	Prijenos metala kratkim spojem (MKS), promjer žice 0.8 mm			
	Ar	Ar-O ₂ (1-5%)	Ar(75%)-CO ₂ (25%)	CO ₂
Alumini	19	-	-	-
Ugljični čelik	17	18	19	20
Niskolegirani čelik	17	18	19	20
Nehrdajući čelik	18	19	21	-
Nikal	22	-	-	-
Bakar	24	22	-	-

Tablica 4- Vrijednost napona za različite metale



Slika 23. Utjecaj napona na kvalitetu zavara

Polaritet zavarivanja

- ▶ Kod AC MIG postupka primjenjuje se promjenjiv polaritet žice. Izmjenjuju se pozitivni i negativni ciklusi što omogućuje bolju kontrolu procesa.
- ▶ Izmjenom samog polariteta na žici postiže se precizna kontrola distribucije topline u samom električnom luku, odnosno dobiva se ravnoteža između pozitivnog i negativnog pola na elektrodi i radnom komadu. Takvom primjenom mijenjanja polariteta može se premostiti veće zazor kod tanjih materijala, ali ovisi o samoj primjeni negativnog polariteta na žici koji će promijeniti oblik penetracije i mogućnost premošćivanja pri zavarivanju tankih limova.
- ▶ Postupak je moguće primijeniti i za tvrdo lemljenje pri čemu ravnoteža negativnog polariteta na žici znatno utječe na mogućnost premošćivanja između radnih komada.

4.5. Žice za zavarivanje

- ▶ Dodatni materijal (žica) svojim sastavom utječe na zavarivačke i metalurške procese i time osigurava odgovarajuću kvalitetu zavarenog spoja ili navara.
- ▶ Dodatni materijali standardizirani su međunarodnim ili nacionalnim normama, koje odgovarajućim oznakama označavaju njihova svojstva.
- ▶ U procesu zavarivanja dodatni materijal se rastaljuje te zajedno sa osnovnim materijalom, tj. talinom osnovnog materijala, čine zavaren spoj.
- ▶ Kod MIG/MAG zavarivanja koriste se žice promjera: 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6 i 2.4 mm, koje se namotane na kolute standardiziranih oblika i dimenzija mogu težiti od 1 do 100 kg.
- ▶ Žice, koje su od čeličnih materijala, su prevučene bakrom radi boljeg električnog kontakta, ali i zaštite samih žica od korozije. Sloj bakra mjeri se u mikronima.
- ▶ Osim punih žica postoje i praškom punjene žice.
- ▶ Takve žice dobivaju se od metalne trake, debljine oko 0.5 mm, koja se savija po duljini i puni bazičnim, metalnim ili rutilnim praškom određenog kemijskog sastava.

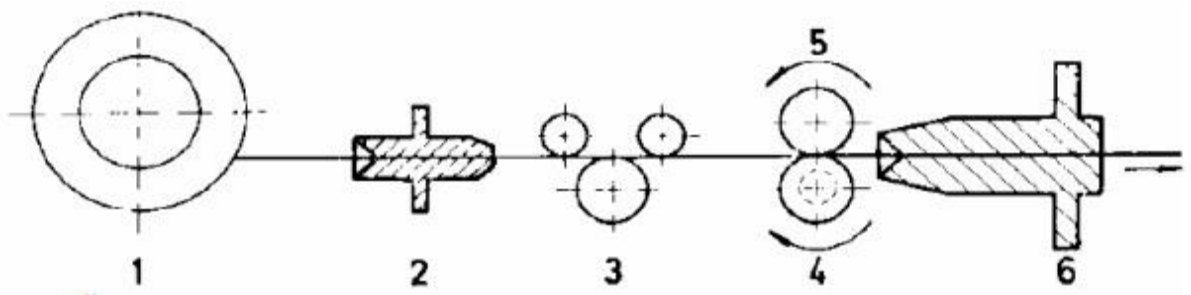
- ▶ Stupanj punjena može biti: nizak (manji od 15%), srednji (15-25%) i visoki (veći od 25%). Žice, koje su punjene, imaju raznovrsne poprečne presjeke.
- ▶ Kod žica, koje su punjenje praškom, zavarivanje se može provoditi sa zaštitnim plinom ili bez zaštitnog plina što ovisi o samom prašku koji se puni u žice. U slučaju kada ne postoji zaštitni plin žice stvaraju zaštitnu atmosferu raspadanjem jezgre.
- ▶ **Prednosti zavarivanja praškom punjenje žice** u odnosu na ostale postupke su :
 - visoka kvaliteta zavara
 - odlična penetracija i ljepši izgled zavara
 - izvanredan oblik kutnih zavara u zidnom položaju
 - veća produktivnost
 - nizak sadržaj vodika
 - manja opasnost od naljepljivanja i poroznosti
 - manje štrcanje
 - velika brzina zavarivanja.
- ▶ **Nedostaci praškom punjenje žice** u odnosu na ostale postupke su :
 - veća cijena žice u odnosu na punu
 - veća količina plinova
 - potreba za skidanje troske

4.6. Uređaji za dobavu žice

- ▶ Koriste se posebni uređaji koji za vrijeme zavarivanja osiguravaju ravnomjernu dobavu žice na mjesto zavarivanja.
- ▶ Postoji više sustava dovođenja žice. Sustav mora osigurati fleksibilnost i postizanje različitih brzina dobave žice što ovisi o uvjetima zavarivanja.

Sustavi za dobavu žice

- a) **kabinski**: primjena kod nepokretnog radnog mjesta, kolut žice i pogonski mehanizmi smješteni u kućištu za napajanje
- b) **univerzalni**: sve se nalazi izvan kućišta, rad s takvim sustavom na promjenjivim mjestima i veliki komadima
- c) **tandem**: ima dva pogonska mehanizma, jedan u kućištu dok je drugi neposredno kod mjesta zavarivanja
- d) **push-pull**: dva pogonska mehanizma, jedan u kućištu dok je drugi u pištolju, zavarivanje na nepristupačnim mjestima



*Slika 24. Dijelovi sustava za dobavu žice
1-kolut sa žicom, 2-izlazna vodilica, 3-valjci za usmjeravanje žice, 4,5-pogonski valjci,
6-ulazna vodilica.*

Za dobavu žice najčešće se koriste dva načina.

- ▶ Prvi način je guranje žice „**push**“. Žica se gura kontroliranom brzinom pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu. Potrebna brzina žice kontrolira se istosmjernim motorima. Pogon osiguravaju 2 ili 4 kotačića koji guraju žicu. Ovaj način omogućuje rad sa žicama od 0.6 do 2.4 mm za čelik, 1.2 do 2.4 mm za aluminij i 1.0 do 2.4 mm za žice koje su punjene praškom. S ovim načinom može se sigurno dodavanje izvesti do nekih 3 do 4 m udaljenosti.

- ▶ Drugi način je „**push-pull**“. Pomoću pogonskih kotačića „push“ žica se gura do pogonskih kotačića „pull“ koji je vuku do mjesta zavara. Kao i kod prvog načina „push“ je smješten u kućištu, dok je „pull“ smješten u pištolju.
- ▶ **Prednost** sustava je ta da je žica uvijek zategnuta u vodilici što omogućuje dobavu žica i manjih promjera (0.8 mm) na udaljenostima i do 15 m.
- ▶ Kod pogona za dobavu žice postoji pogon s 2 kotačića i 4 kotačića. Kod oba pogona pritisak mora biti minimalan, toliko da žice ne proklizuju. Podešavanje se vrši na samim pogonima.
- ▶ Zavarivanje na većoj udaljenosti (od izvora) jedan je od tehnoloških problema u zavarivanju koji su vezani za dobavu žice. Neki od rješenja su:
 - odvajanje uređaja za dobavu žice od izvora
 - ugradnja „međustanice“ između izvora i pištolja
 - korištenje posebnoga pištolja „spool gun“ gdje su pogon i žica smješteni u pištolju.

4.7. Položaj pištolja za zavarivanje

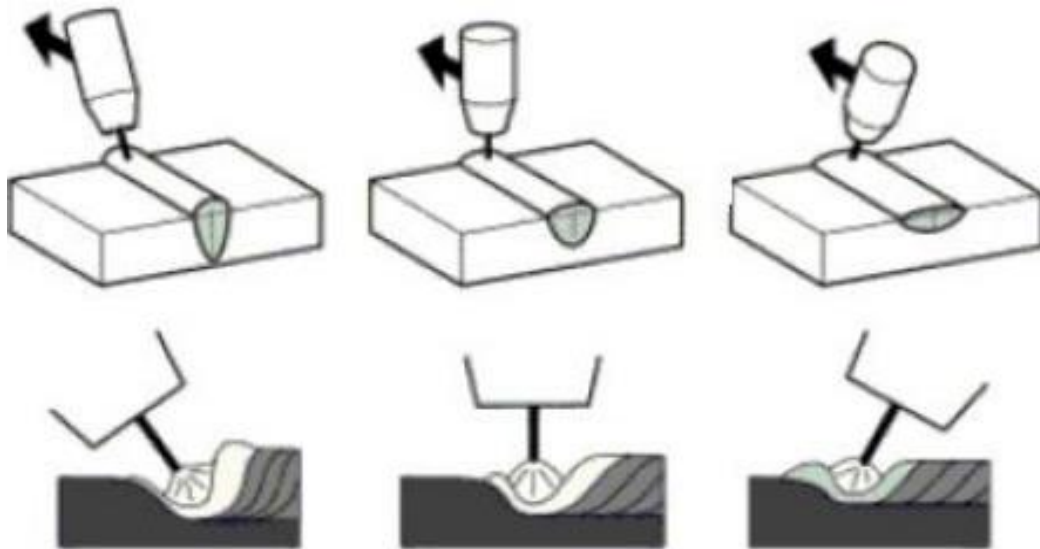
- ▶ Položaj zavarivanja tj. nagib pištolja u odnosu na radni komad i smjer zavarivanja imaju utjecaj na oblik, ali i kvalitetu samog zavara.
- ▶ Nagib pištolja utječe na oblik zavara, prikazuje utjecaj nagiba, položaja pištolja na oblik zavara. Kod pogrešnog položaja pištolja događa se greška poroznosti. Ova greška nastaje zbog velikoga kuta pištolja i velike udaljenosti između sapnice pištolja i radnoga komada.

Ovisno o tehnici zavarivanja, odnosno o smjeru gibanja postoje **tri osnovna načina**:

1. Desna tehnika
2. Vertikalna
3. Lijeva tehnika

- ▶ Kada se koristi **desna tehnika** zavarivanja postižu se uži zavari i veće penetracije. Ta tehnika pogodna je za deblje materijale, ona se još naziva i tehnikom zavarivanja unazad.

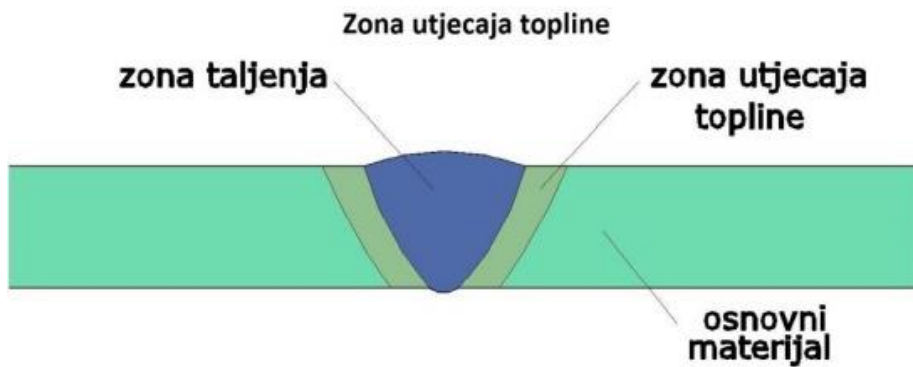
- ▶ Druga tehnika zavarivanja je **vertikalna**. Ta tehnika zavarivanja daje širi zavar i srednju penetraciju.
- ▶ Treća tehnika, **lijeva tehnika** zavarivanja daje širi zavar i manju penetraciju. Pogodna je za zavarivanje tanjih materijala. Naziva se i tehnika zavarivanja unaprijed.



Desna tehnika **Slika 25. Načini zavarivanja vertikalna** *lijeva tehnika*

4.8. Zona utjecaja topline

- ▶ Zona utjecaja topline (kratica: ZUT) je dio osnovnog materijala, koji se nalazi neposredno uz zonu taljenja, a gdje dolazi do promjene kristalne strukture i mehaničkih svojstava zbog topline unesene zavarivanjem.
- ▶ Izrazite promjene strukture za nelegirani čelik su iznad 723 °C, pogotovo ako nisu dovoljno sporo hladene. Za poboljšane čelike, koji se kale i popuštaju pri relativno niskim temp., bilo kakvo grijanje iznad otprilike 300 °C, uzrokovat će bitne promjene svojstava.
- ▶ Zona utjecaja topline ovisi o unosu topline i obično je 2 do 8 mm.



Slika 26. Zona utjecaja topline

5. Prednosti i nedostaci MIG postupka

Prednosti zavarivanja MIG postupkom:

- razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje,
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na zavarivanje TIG postupkom; pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju, te reparaturna zavarivanja,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- daleko veća učinkovitost (6 kilograma položenog materijala na sat) u odnosu na zavarivanje TIG postupkom,
- čista površina metala položenog zavara (bez troske),
- smanjenje iskrivljenja konstrukcije.

Nedostatci:

- kvaliteta zavara ovisi o vještini zavarivača (čovjeka) kod poluautomatskog zavarivanja,
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je kraće nego kod zavarivanja TIG postupkom,
- kvaliteta zavarenog spoja je slabija u odnosu na kvalitetu zavarivanja TIG postupkom (kako s 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).

5.1. Suho podvodno zavarivanje

- ▶ Tehnike podvodnog zavarivanja dijele se u dvije osnovne skupine prema atmosferi u kojoj se zavarivanje odvija. Kod suhih tehnika, zavarivanje se odvija ili unutar raznih izvedbi podvodnih kutija za zavarivanje ili unutar podvodnih komora pri atmosferskom ili hiperbaričkom tlaku.
- ▶ Vrsta plinovite atmosfere i ambijentalni tlak važni su čimbenici koji utječu na proces zavarivanja te na kvalitetu dobivenih zavarenih spojeva. Komprimirani zrak i mješavine za disanje na bazi dušika imaju u pravilu negativan utjecaj na strukturu, svojstva i kvalitetu zavarenih spojeva.
- ▶ Kvaliteta zavarenih spojeva dobivenih suhim tehnikama zavarivanja je dobra i ponekad istovjetna kvaliteti spojeva zavarenih na kopnu jer je moguće postići A i O klase zavara prema specifikaciji za podvodno zavarivanje. Ovako visoku kvalitetu zavara postiže se ne samo zahvaljujući okolnim uvjetima (zaštitna atmosfera, hlađenje zavara na zraku), već i zbog mogućnosti predgrijavanja i naknadne toplinske obrade nakon zavarivanja.
- ▶ Kod suhog zavarivanja postoje odlični uvjeti za pripremu spoja prije zavarivanja te ako je potrebno lako se izvodi naknadno brušenje. Cijene suhih podvodnih tehnika zavarivanja višestruko su veće od cijena zavarenih spojeva ostvarenih mokrim zavarivanjem zbog angažiranja velike količine prateće nadvodne i podvodne tehničke podrške za dubinska ronjenja. Drugi nedostatak jest nefleksibilnost postupka jer da bi se montirala komora potreban je jednostavan pristup mjestu zavarivanja, što kod nosećih konstrukcija platformi nije uvijek slučaj.
- ▶ Pri suhom zavarivanju primjenjuju se jednake tehnike rada kao u tvorničkim radionicama, a najčešće se zavaruje REL, TIG, MIG/MAG i FCAW postupcima zavarivanja ovisno o dubini, osnovnom materijalu, debljini osnovnog materijala, itd.
- ▶ Tehnike suhog podvodnog zavarivanja dijele se u 4 osnovne varijante:

- a) zavarivanje u suhoj hiperbaričkoj komori
- b) zavarivanje u suhoj zavarivačkoj mini-komori
- c) atmosfersko podvodno zavarivanje
- d) lokalno suho podvodno zavarivanje.

6. ZAVARIVANJE MIG-MAG AUTOMATIZIRANIM POSTUPKOM

6.1. Automatizirani zavarivački sustavi koriste tehnološki napredne komponente koje rade u savršenom skladu jedna s drugom te tako smanjuju cijenu gotovo savršenih zavara. Ako se koriste komponente poput rotacijskih stolova ili pozicionera, to se naziva „tvrda automatizacija“ (eng. hard automation).

U takvom slučaju gleda se na svaki detalj, poput sustava dobave dodatnog materijala, te paljenje električnog luka. Preciznim odvijanjem svih radnji u takvom sustavu omogućava stalnu kvalitetu zavara.

Glavne komponente koje se pojavljuju u automatiziranim sustavima za zavarivanje su: **programi za upravljanje, izvor energije za zavarivanje, laserski sustavi za praćenje zavara, kamere za praćenje električnog luka, te sustav dobave dodatnog materijala i obratka.**

Vrste automata za zavarivanje:

- pravocrtni automati za zavarivanje
- sustavi s kružnim gibanjem obratka oko nepomičnih pištolja
- sustavi s kružnim gibanjem oko obratka
- prilagođeni sustavi za zavarivanje.

Automati za pravocrtno zavarivanje

Pri pravocrtnom (linijskom) zavarivanju automat se kreće u jednom smjeru i zavaruje. Pri tome je moguće da se pištolj za zavarivanje njiše. Izvor struje za zavarivanje može biti uključivanjem u struju ili na bateriju. Automati se mogu kretati samostalno (kotači) ili po vodilicama.

Automati s kružnim gibanjem

U sustavima s kružnim gibanjem, moguće je kružno gibanje obratka sa statičnim pištoljima za zavarivanje ili kružno gibanje oko obratka. Takva vrsta zavarivanja omogućuje brzo i visoko kvalitetno zavarivanje kružnih zavara. Neki od proizvoda koji se zavaruju takvim automatima su prirubnice (rotacija komada) i cijevi velikog promjera (kružno gibanje automata).

Višenamjenski sustavi za zavarivanje

Osim za pravocrtno ili kružno zavarivanje postoje i **automati za višenamjensko zavarivanje**. Oni mogu izvoditi i pravocrtno i kružno gibanje istovremeno. Takvi sustavi sadrže više komponenti koje omogućuju gibanje po različitim osima. Tako rotacijski stolovi omogućuju rotaciju predmeta, stupovi omogućuju vertikalno kretanje pištolja, a ruka horizontalno. Time se mogu izvoditi spiralni zavari na cijevima.

6.2. Robotizacija zavarivanja

Automati za zavarivanje obično imaju samo jednu zadaću, odnosno zavaruju samo po jednoj osi. Također, za njihov rad potreban je i rad operatera koji ne samo da nadzire, već često i u samom radu mora mijenjati postavke. Kada sustav postane u potpunosti samostalan od početka zavarivanja do kraja, te kada mu je omogućen rad u svim položajima i po više osi, govori se o robotizaciji. Roboti se koriste u velikoserijskim automatiziranim pogonima koji imaju potrebu povećati svoju brzinu i kvalitetu izrade.

Rail Bull automat za zavarivanje

Rail Bull je automat za pravocrtno zavarivanje i rezanje, firme Promotech. Engleski naziv ovakve vrste automata je track carriage. Taj naziv mu je prikladan jer zapravo vodi pištolj za zavarivanje prateći put vodilice. Namijenjen je za zavarivanje i rezanje pločevina i limova, te kružno zavarivanje relativno velikih radijusa (min. 5000 mm). Ima ugrađen sustav za njihanje pištolja za zavarivanje koji omogućuje male pokrete pištolja lijevo-desno tijekom zavarivanja.



Slika 27. Rail Bull automat za zavarivanje

POSTUPAK ZAVARIVANJA	MATERIJAL	KRITIČNO ZAGAĐENJE	PREPORUČLJIVA VENTILACIJA		
			LE	FEG	HAS
REL	Crni čelik	Čestice			
	Cr-Ni čelik	Čestice, Cr(VI)			
MIG/MAG	Crni čelik	Čestice	(*)	(*)	
MIG	Cr-Ni čelik	Čestice, Cr, Ni, Ozon			
	Aluminij	Ozon			
IMPULSNI MIG/MAG	Svi	Ozon, čestice			
TIG	Cr-Ni čelik	Ozon			
	Aluminij	Ozon			
PRAŠKOM PUNJENA ŽICA	Crni čelik	Čestice, (Ba)			
	Cr-Ni čelik	Čestice, Cr(VI)			

LE: lokalna ekstrakcija; FEG: Fume Extracting Gun-pištolj s ekstraktorom; HAS: Helmet with air supply-mask s dobavom zraka (*): alternativno

Tablica 5 - Tablica zagađenja mjesta zavarivanja

7. GREŠKE ZAVARIVANJA I KONTROLA ZAVARNIH SPOJEVA

7.1. Nepravilnosti (greške) u zavarenom spoju

Moguće nepravilnosti koje se javljaju u zavarenom spoju dijele se na:

- konstrukcijske nepravilnosti,
- nepravilnosti povezane s procesom zavarivanja
- metalurške nepravilnosti.

Konstrukcijske nepravilnosti odnose se na odabir nepravilnog oblika zavarenog spoja za određenu primjenu i neželjene promjene u poprečnom presjeku spoja.

Nepravilnosti povezane s procesom zavarivanja uključuju:

- Ugorine: oštre udubine uz zavar
- Uključine troske: nemetalne uključine zarobljene u metalu zavara ili između metala zavara i osnovnog materijala
- Porozitet: nastaje od zaostalog plina tijekom zavarivanja koji je ostao zarobljen prilikom skrućivanja u metalu zavara
- Preklop: ispruženje metala zavara iznad lica zavara ili ispod korijena zavara
- Uključine volframa: čestice volframove elektrode u metalu zavara
- Ostaci potpornog materijala za izradu korijena zavara
- Uključine oksida: čestice površinskih oksida koje se nisu otopile i nalaze se u metalu zavara.
- Naljepljivanje: stanje u kojem je metal zavara loše povezan s osnovnim materijalom
- Nepotpuna penetracija: stanje u kojem je penetracija manja od zadane.
- Krateri: udubine u zavaru
- Progaranje osnovnog materijala: uzrokovano prevelikim unosom topline
- Onečišćenje kapljicama metala: uzrokovano prskanjem prilikom zavarivanja.

- Nedovoljni provar korijena.

Metalurške nepravilnosti uključuju:

- Pukotine
- Plinski uključci: mjesta vodika u metalu zavara (pore)
- Segregacije: uzrokovano nejednolikom distribucijom nečistoća ili legirajućih elemenata, stvaraju pukotine i slaba mjesta pri opterećenju.

Navedene pogreške ovise uglavnom o izabranom procesu zavarivanja, tipu zavara, materijalu i radnim i okolišnim uvjetima.

7.2. Otklanjanje grešaka

Neka od osnovnih pravila za izbjegavanje nastajanja pukotina su:

- pravilan izbor postupaka i uvjeta zavarivanja,
- pravilan izbor dodatnog materijala,
- sušenje elektroda i prašaka prije zavarivanja,
- čistoća u pripremi spoja za zavarivanje: ne smije biti vlage, hrđe, okujine, masnoća, a površinu uz zavar treba pobrusiti,
- tamo gdje se zahtijeva, obavezno treba izvršiti predgrijavanje na odgovarajuću temperaturu i održavati je tijekom zavarivanja,
- ograničeni unos topline tijekom zavarivanja,
- provoditi višeslojno zavarivanje vezanim slojevima, bez velikog poprečnog gibanja vrha elektrode,
- provoditi redosljed zavarivanja koji osigurava najmanja zaostala naprezanja u zavarenom spoju,
- izvoditi pravilno započinjanje i prekidanje zavarivanja, te pravilnu popunu završnog kratera,

- izbjegavati privarivanje pomoćnih sredstava po površini materijala. Ako ih se ne može izbjeći, valja ih izvoditi istim načinom i pažnjom kao i glavni zavar. Skidaju se brušenjem, a ne odbijanjem,
- izbjegavati oštećenja površine materijala električnim lukom i oštrim alatima,
- kod zavarivanja debljih materijala, a i tamo gdje se sumnja da može doći do pojave pukotina, provodi se dodatna kontrola zavarenih spojeva nakon odžarivanja.

Pravila za izbjegavanje nastanka poroznosti:

- čistoća mjesta zavarivanja, naročito kod visokih zahtjeva za kvalitetu zavarenih spojeva,
- odmaščivanje spoja prije zavarivanja nehrđajućih čelika,
- uklanjanje oksida neposredno prije zavarivanja aluminijskih i njegovih legura,
- plinskim plamenom osušiti spoj prije zavarivanja pri hladnijim vremenskim uvjetima,
- pravilno uspostavljanje i prekidanje električnog luka,
- pravilno održavanje visine električnog luka, pravilan nagib pištolja ili elektrode,
- ispravna količina zaštitnog plina,
- sušenje obloženih elektroda i praška prije zavarivanja,
- čistoća zaštitnog plina,
- ispravan uređaj za zavarivanje,
- ispravni parametri zavarivanja,
- ispravna tehnika rada.

Pravila izbjegavanja nastanka čvrstih uključaka:

- pravilna priprema spoja za zavarivanje, ispravan kut otvora žlijeba,
- obavezno čišćenje troske među slojevima kod višeslojnog zavarivanja,

- kod oštećenja stranica žlijeba (ugorine) ili kod većeg ispupčenja prethodnog sloja, potrebno je brušenjem odstraniti oštre zareze prije zavarivanja sljedećeg sloja,
- zavarivanje treba izvoditi ispravnim parametrima i ispravnom tehnikom rada,
- kod zavarivanja aluminija i aluminijskih legura treba oksidnu kožicu otkloniti četkanjem ili struganjem, neposredno prije zavarivanja,
- kod TIG zavarivanja aluminija i aluminijskih legura valja pripaziti da se talina zavara ne dodiruje vrhom volframove elektrode.

7.3. KONTROLA ZAVARA

S obzirom na fizikalne principe, nerazorna ispitivanja dijelimo na **metode nerazornih ispitivanja**, a s obzirom na specifičnosti načina provedbe ispitivanja na **tehnike nerazornih ispitivanja**.

Detekcija nepravilnosti temelji se na određenom odzivu nepravilnosti. Ovisno o primijenjenom fizikalnom principu i ispitnim parametrima (npr. osjetljivost, razlučivost) može se govoriti i o odzivu materijala (strukture).

Nerazorna ispitivanja provode se u cilju:

1. pronalaženja nepravilnosti (pogrešaka),
2. karakterizacije materijala.

Metode nerazornih ispitivanja

1. **Površinske metode** – provode se zbog detekcije površinskih nepravilnosti:

- Ispitivanje penetrantima (PT),
- Ispitivanje magnetnim česticama (MT).

2. **Volumne metode** – provode se zbog detekcije nepravilnosti u materijalu:

- Ispitivanje ultrazvukom (UT),
- Radiografsko ispitivanje (RT).
- Termografija/termovizija (IR),

- Vizualno ispitivanje (VT).

3. **Dimenzionalna metoda** – provodi se zbog detekcije nepravilnih mjera:

- Dimenzionalna kontrola (DK).

PRINCIP	ispitna struktura	METODA	TEHNIKE
elektro- magnetski valovi	X i γ zračenje	RT radiografska (radijacijska)	radiografija, radioskopija, gamagrafija, XRD, XRF
	vidljivi dio spektra	VT vizualna	direktna, RVI
	IR valovi	IR termografska	termovizija, lock-in termografija
	mikrovalovi	GPR radarska	
	niskofrekventna polja	ET (EC, vrtložne struje)	RFEC, ACPD, ACFM, ..
	magnetsko polje	MT magnetska	magnetskim česticama, MFL, Barkhausen
elastični valovi	ultrazvučni valovi	UT ultrazvučna	tehnike odjeka (PE), difrakcije (TOFD), ...
	akustički valovi	AC, AE akustička	akustička emisija, Impact Echo (IE)
kontakt	penetrant (kapilarni efekt)	PT penetrantska	ovisno o vrsti penetranta...
	inertni plin (propusnost)	LT ispitivanje propusnosti	vacuum, helij

Tablica 6 - Nerazorne metode ispitivanja

8. ZAVRŠNA OBRADA ZAVARENOG SPOJA

Postupci naknadne obrade površine nakon procesa zavarivanja dijele se na:

- mehaničke
- kemijske/elektrokemijske postupke

Optimalno rješenje prilikom obrade zavarenih spojeva je izvođenje mehaničkog i kemijskog čišćenja površine jer primjenom jedne od metoda najčešće nije moguće ukloniti oštećenja koja su nastala pri izradi zavarenog spoja.

Kemijske metode obrade površine su uglavnom efektivnije od mehaničkih, no kemijske metode priječe zakoni o zaštiti okoliša, zakoni o zaštiti na radu te Brindavan štetnih tvari s površina nehrđajućih čelika.

Prije bilo kakve **mehaničke obrade** površine potrebno je prvo ukloniti sve masnoće, boje i ostale neželjenih tvari s površine kako bio se ona mogla mehanički obrađivati. Odabir postupka mehaničkog čišćenja ovisi o veličini dijelova, faktoru kompleksnosti geometrije dijela te dostupnosti tehnike čišćenja.

Za čišćenje površine od blažih neželjenih tvari koriste se kupke te nakon toga se brišu mekim tkaninama kako se površina ne bi oštetila, za tvrdokornije mrlje koriste se mješavina pare i odgovarajućeg sredstva za čišćenje površine nehrđajućeg čelika.

8.1. Brušenje

Brušenje je jedna od najčešćih metoda korištenih za obradu površine nehrđajućih čelika. Prvenstveno se koristi kao metoda za uklanjanje suviška metala na licu zavora, uklanjanje dubokih ogrebotina te za ravnjanje zavora do površine osnovnog materijala.

- ▶ Brušenjem se može ukloniti pobojanost površine nakon zavarivanja te promjene mikrostrukture uzrokovane visokim unosom topline na površini zavora koje dovode do pada otpornosti na koroziju i uzrokuju lošija mehanička svojstva zavarenog spoja.
- ▶ Za brušenje površine potrebni su stroj za brušenje (brusilica) i brusni disk, brusni remen ili brusni valjak.

8.2. Pjeskarenje

Pjeskarenje je proces obrade površine materijala koji radi tako da stlačeni medij sa zrnima pijeska udara površinu materijala. Ovaj oblik čišćenja površine je jeftiniji od sačmarenja, no ujedno uzrokuje i najviše problema. Obradene površine su vrlo grube, jako ih je teško očistiti te nemaju gotovo nikakvu otpornost na korozijsko razaranje.

- ▶ Najveći problem ovog oblika obrade površine je što preveliki tlak pri obradi stvara male jamice na površini koje uzrokuju u agresivnim medijima rupičastu koroziju.
- ▶ Pijesak s kojim je bio obrađivan nelegirani ugljični čelik ne smije se koristiti naknadno za obradu nehrđajućeg čelika. Same čestice pijeska mogu sadržavati željezo te u dodiru s površinom nehrđajućeg čelika mogu kontaminirati površinu.

- ▶ Obično se ovaj tip obrade koristi za skidanje ujednačene opće korozije s materijala, no ovim postupkom se također može ukloniti pobojanost površine uzrokovane prevelikom toplinom.

9. ODRŽAVANJE I KONTROLA OPREME

U normalnim uvjetima uređaj zahtijeva tek minimalno održavanje. Važno je pridržavati se nekih napomena kako bi uređaj godinama ostao spreman za rad.

Kontrola i održavanje prilikom svakog stavljanja u pogon:

- Provjerite jesu li mrežni utikač i mrežni kabel te gorionik za zavarivanje / držač elektroda neoštećeni. Zamijenite oštećene komponente.
- Provjerite da su gorionik za zavarivanje / držač elektroda i maseni kabel pravilno priključeni i pričvršćeni na izvor struje, kako je opisano u dokumentu.
- Osigurati da postoji ispravno uzemljenje izratka.
- Provjeriti da slobodan prostor oko uređaja iznosi 0,5 m kako bi hladan zrak mogao slobodno dotjecati i izlaziti. Otvori za ulaz i izlaz zraka nikad se ne smiju prekrivati, čak ni djelomično.
- Održavanje svakih 2 mjeseca - očistiti filter za zrak.
- Uređaj odložite samo u skladu s važećim nacionalnim i regionalnim odredbama.
- Automatizirani sustavi za nanošenje sredstava za zaštitu i čišćenje sapnice koji se koriste mogu se naći na tržištu pod nazivom Nozzle Cleaning System.
- Takav sustav se najčešće koristi u kombinaciji s robotiziranim uređajima gdje se nakon programiranog vremenskog intervala izvodi čišćenje sapnice. Robot dovodi pištolj u sustav, a sapnica se steže pomoću pneumatskih kliješta. Nakon toga rotirajući alat čisti nataložene kapljice nastale prilikom prskanja. Na kraju se kapljice ispušu i pištolj tj. sapnica se zaštite sredstvom protiv lijepljenja.

10. OČUVANJE OKOLIŠA

Emisija dimova i krutih čestica u radni okoliš, posljedica je visokotemperaturnih fizikalno-kemijskih reakcija pri samom postupku zavarivanja i predstavlja glavnu opasnost za izložene.

Idealno rješenje za radni okoliš bilo bi potpuno uklanjanje štetnih tvari što je sa sadašnjim stupnjem razvoja tehnologije nemoguće.

Zadovoljavajućom zaštitom smatra se držanje štetnih tvari u koncentracijama nižim od MDK (maksimalno dopustiva koncentracija).

Odsisni sustavi

- ▶ Osnovna namjena odsisnih sustava je ZAŠTITA ljudi (dišni sustav) i okoliša! Funkcija odsisnih sustava je odvođenje štetnih plinova i čestica iz radne okoline radnika ali i samog okoliša.
- ▶ Štetne plinove i čestice koji nastaju kao nusproizvod prilikom zavarivanja i rezanja potrebno je odvesti iz radne pozicije u filtersku jedinicu (prijenosne, stacionarne, centralne) da bi se osigurala čista radna atmosfera (zaštita radnika) i kako bi se nečistoća mogla kvalitetno zbrinuti (zaštita okoliša).

11. MJERE ZAŠTITE OD DJELOVANJA PLINOVA I DIMNIH PLINOVA PRI ZAVARIVANJU

Mjere opreza koje su potrebne da bi se izbjegla izloženost ili smanjila izloženost radnika plinovima i dimnim plinovima ispod MDK su:

- uređaji u kojima se radi s plinovima, moraju biti nepropusni, a posude dobro zatvorene jer plinovi mogu izlaziti i kroz najmanje pukotine i brzo ispuniti sav prostor. Propusnost uređaja se uvijek kontrolira sapnicom ili specijalnim instrumentima. Također treba paziti da sve cijevne armature za plin i ventili na bocama dobro brtve.
- u radnim prostorijama treba osigurati dobru ventilaciju kako bi koncentracija plinova bila ispod dozvoljene. Paziti da je za vrijeme rada uključen ventilacijski sustav.
- pri radu u prostorijama, u kojima je koncentracija plina iznad dozvoljene, treba nositi **plinske maske** s odgovarajućim **filterom** odnosno cijevne maske ili izolacione aparate.

- najefikasniji način uklanjanja plinova i dimova iz radnih prostorija je ventilacija. **Ventilacija** može biti opća, kada obuhvaća cijelu prostoriju i zamjenjuje nečisti zrak s čistim, i može biti lokalna koja obuhvaća samo izvor onečišćenja (npr. mjesto zavarivanja)
- ako se radi u prostoriji u kojoj je velika koncentracija prašine, a koja se nije uklonila ventilacijom, treba koristiti osobnu zaštitu. Za zaštitu organa za disanje upotrebljavaju se **respiratori s filterima**, koji sprječavaju ulazak čestica sa zrakom u organe za disanje.
- potrebno je mjeriti koncentraciju kisika u atmosferi radnog prostora. Također, u malim prostorima potrebno je osigurati dovod svježeg zraka kako bi se dobile nove količine kisika i kako bi se odstranili plinovi ugljični dioksid i dušikovi oksidi.

12. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA

U radu s tehničkom dokumentacijom potrebno je slijediti određena pravila: označavanje i numeriranje dokumenta, arhiviranje dokumenta itd.

Tehnička dokumentacija je *vlasništvo* tvrtke/poduzeća i važno je ispravno s njom postupati.

Metoda rada s dokumentacijom ovisi o kakvoj se dokumentaciji radi.

Tehnička dokumentacija mora sadržavati *jasnu* specifikaciju (oznaku) proizvoda, nekog dijela ili polu-proizvoda.

Specifikacija (proizvoda) može biti:

- potpuna
 - ime
 - podaci o dimenzijama
 - identifikacija materijala (numerička, alfa-numerička, verbalna)
 - identifikacija dokumenta koji dopunjuje zahtjeve o proizvodu, nekom njegovom dijelu ili polu-proizvodu
- pojednostavljena

Pod tehničku dokumentaciju ne spadaju samo "nacrti" ili "sheme". Tehničke podatke je moguće također naći u komercijalnoj dokumentaciji (reklamni materijali, katalogi) ili uslužnoj dokumentaciji (korisnički priručnici, servisni priručnici).

13. PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. Koja je razlika između MIG i MAG postupka zavarivanja?
2. Koja su zaštitna sredstva obavezna kod oba postupka zavarivanja?
3. Koje su prednosti MAG zavarivanja?
4. Koji su nedostaci MAG zavarivanja?
5. Što čini osnovu opremu automatskog MAG sustava?
6. Nabroji izvedbe uređaja za dodavanje žice!
7. Koja je uloga ventila kod MIG/MAG postupka?
8. Koje hlađenje pištolja se preporučuje kod ovih postupaka zavarivanja?
9. Na osnovu kojih kriterija se bira odabir zaštitnog plina za zavarivanje?
10. Koji se plinovi koriste pri MAG zavarivanju?
11. Nabroji neke od načina prijenosa metala u električnom luku kod MAG postupka zavarivanja?
12. Na koji način napon utječe na kvalitetu zavarivanja?
13. Nabroji žice koje se koriste za zavarivanje?
14. Navedi prednosti i nedostatke zavarivanja praškom punjenom žicom!
15. Nabroji sustave za dobavu žice!
16. Koja su tri načina zavarivanja koja se koriste?
17. Koje su prednosti MIG zavarivanja?
18. Koji su nedostaci MIG zavarivanja?
19. Nabroji automate za zavarivanje u automatiziranim sustavima!
20. Kako dijelimo greške (nepravilnosti) u zavarenom spoju?
21. Na koji način možemo utjecati na otklanjanje grešaka?
22. Nabroji dva načina kontrole zavara!
23. Nabroji metode nerazornih ispitivanja?
24. Nabroji postupke završne obrade zavarenog spoja!
25. Zašto je važna kontrola i održavanje opreme za zavarivanje?
26. Zašto je važna ventilacija kod zavarivanja (objasni)?

14. LITERATURA

1. Z. Lukačević: Zavarivanje, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, SFSB, Slavonski Brod, 1998.
2. L. Bilić: Zaštitni plinovi kod zavarivanja mag/mig postupkom, Završni rad, FSB, Zagreb, 2009.
3. I. Garašić, S. Kralj, Z. Kožuh: Suvremeni postupci MIG/MAG zavarivanja, Strojevi i oprema za zavarivanje (podloga), FSB, Zagreb, 2013.
4. <http://moodle.vz.unin.hr/moodle/mod/resource/view.php?id=16727> , TS- 002- Tehnikespajanja_-_Postupci zavarivanja.pdf, dostupno 15.01.2016.
5. Josip Brezetić: Tehnologija II- Zavarivanje, Veleučilište u Karlovcu, Podloge za učenje
6. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Zavarivanje MIG postupkom](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zavarivanje_MIG_postupkom)