

DRUŠTVO ZA TEHNIKU ZAVARIVANJA ISTRA

POSTUPCI ZAVARIVANJA I NJIHOV UTJECAJ NA KVALITETU I TROŠKOVE U PROIZVODNJI

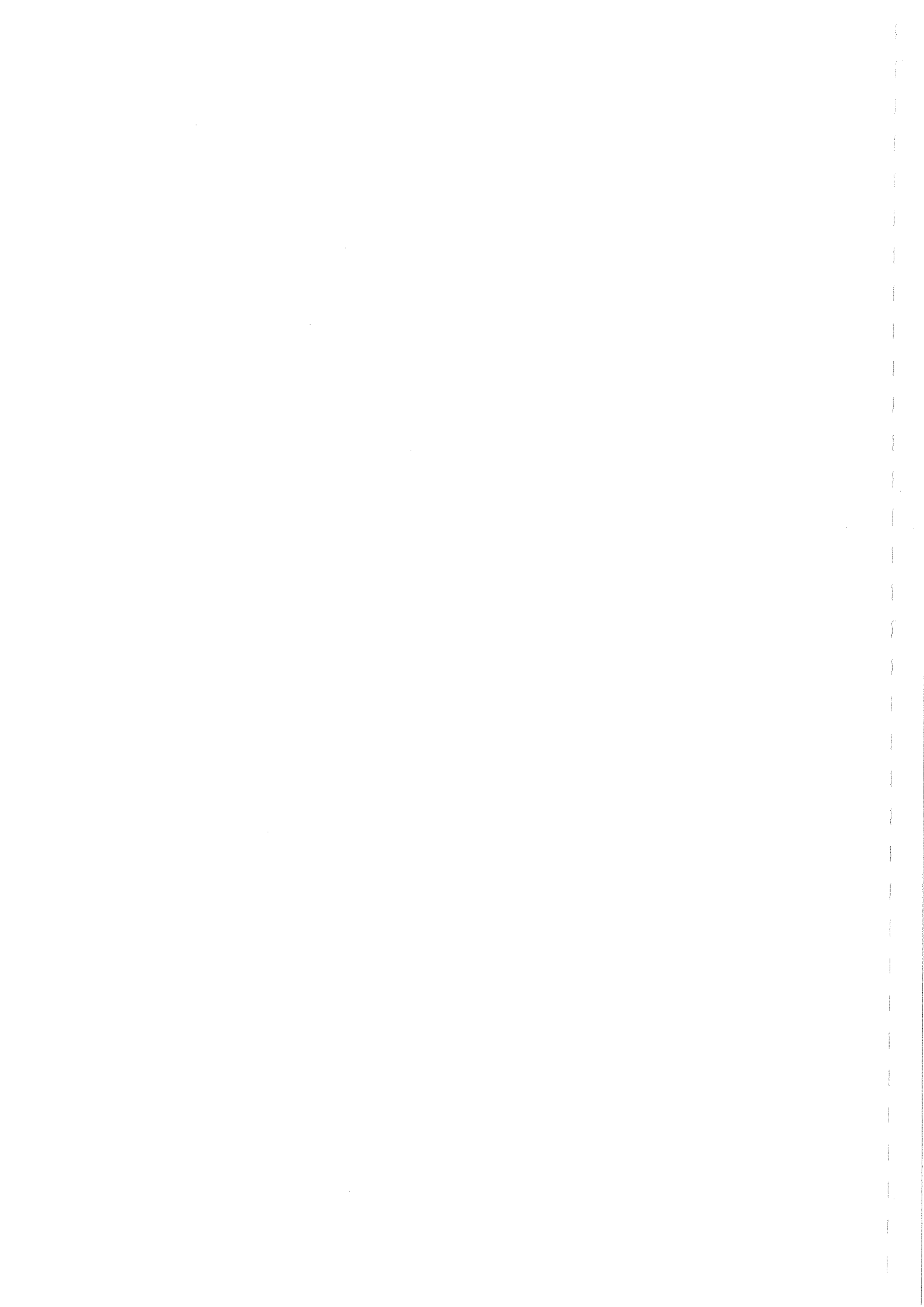
JEDNODNEVNI SEMINAR

08.12.2005.

Voditelj seminara:
Dipl.ing. Nihad Crnalić, EWE

Pula, prosinac 2005.

HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA – ŽUPANIJSKA KOMORA
PULA



POKROVITELJI:

Hrvatska gospodarska komora – Županijska komora Pula

Zajednica tehničke kulture Istarske županije

SADRŽAJ

		Str.
M. Rudan	ZAVARIVANJE U ZAŠTITI PLINA TALJIVOM ELEKTRODOM MIG/MAG – glavna obilježja i područje primjene	Rad 1: 1-12
N. Crnalić	ZAVARIVANJE U ZAŠTITI PLINA NETALJIVOM ELEKTRODOM TIG - glavna obilježja i područje primjene	Rad 2: 1-11
M. Lovrić G.Jurakić	REL ZAVARIVANJE - glavna obilježja i područje primjene	Rad 3: 1-8
M. Gobin	IZBOR OPTIMALNOG POSTUPKA ZAVARIVANJA – utjecaj na kvalitetu i troškove	Rad 4: 1-12
M.Bičić M.Gotesman G.Polonijo	GREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA – uzroci nastajanja i posljedice	Rad 5: 1-11
T. Tucman	TIG ZAVARIVANJE ALUMINIJA	Rad 6: 1-6



RAD 1

ZAVARIVANJE U ZAŠTITI PLINA TALJIVOM ELEKTRODOM (MIG/MAG) – GLAVNA OBILJEŽJA I PODRUČJA PRIMJENE





ZAVARIVANJE U ZAŠTITI PLINA TALJIVOM ELEKTRODOM (MIG/MAG)

Glavna obilježja i područja primjene

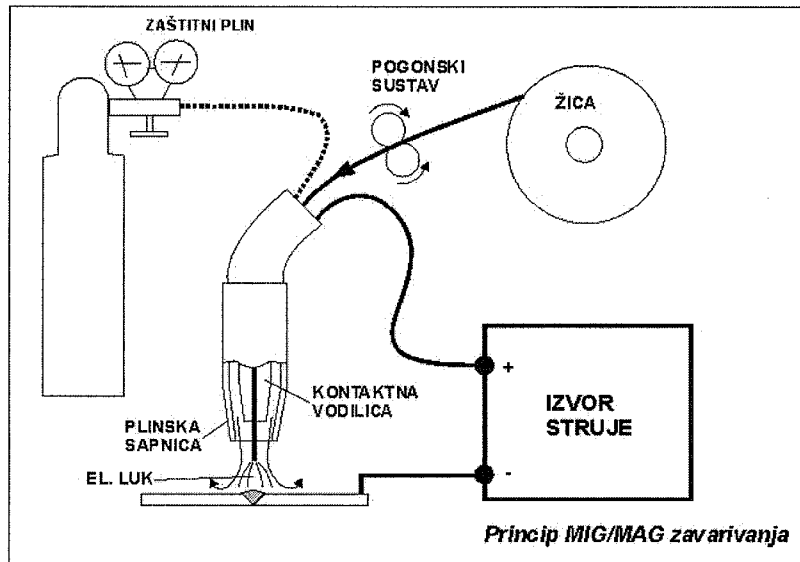
Marijan Rudan, dipl.ing.
«OPTIMUS» d.o.o., 52212 Fažana, Valbandon 606
Tel: 052 / 520 813
Fax: 052/ 520 813
E-mail: optimus@inet.hr

Sažetak: *U radu je opisan MIG/MAG postupak zavarivanja kroz opis glavnih obilježja postupka, opreme koja se koristi te načina i područja primjene.*

Ključne riječi: MIG postupak, zavarivanje

1. Uvod

Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina je postupak zavarivanja taljenjem, gdje se električki luk uspostavlja i održava između taljive žice i radnog komada koji se zavaruje.



Zbog utjecaja topline električkog luka, tali se žica (koja se dovodi konstantnom brzinom) i osnovni materijal na mjestu zavarivanja, čime se ostvaruje zavareni spoj.

Proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju omogućuje plin ugljični dioksid (CO_2), argon (Ar) ili mješavine plinova.

Ovim postupkom se mogu zavarivati svi komercijalno značajni materijali, kao npr. konstrukcioni čelici, nehrđajući čelici, vatrootporni čelici, aluminij i njegove legure, bakar i njegove legure, raznorodni metali i.t.d.

Postupak je izuzetno pogodan za mehanizaciju, automatizaciju i robotizaciju.

2. Terminologija

Skraćeni nazivi varijanti ovog postupka uglavnom dolaze iz njemačkog i engleskog govornog područja.

U našoj literaturi i praksi se uglavnom upotrebljavaju međunarodne skraćenice (prema EN 24063), one će i biti upotrebljavane u daljnjem izlaganju:

- **MIG:** **M**etal **I**nert **G**as
- **MAG:** **M**etal **A**ktiv **G**as

Američka literatura uglavnom koristi naziv:

- **GMAW:** **G**as **M**etal **A**rc **W**elding

Njemačka literatura koristi još i naziv:

- **MSG:** **M**etal **S**chutz**G**asschweissen, što ustvari je GMAW u prijevodu s engleskog jezika

Iako se kod nas u praksi često upotrebljava i skraćeni naziv CO_2 zavarivanje, to ne odgovara uvijek postupku koji se primjenjuje, naime postupak je značajno evoluirao od vremena kad se je kao zaštitni plin uglavnom koristio čisti CO_2 .

3. Podjela postupka

Osnovna podjela postupka se može izvršiti prema:

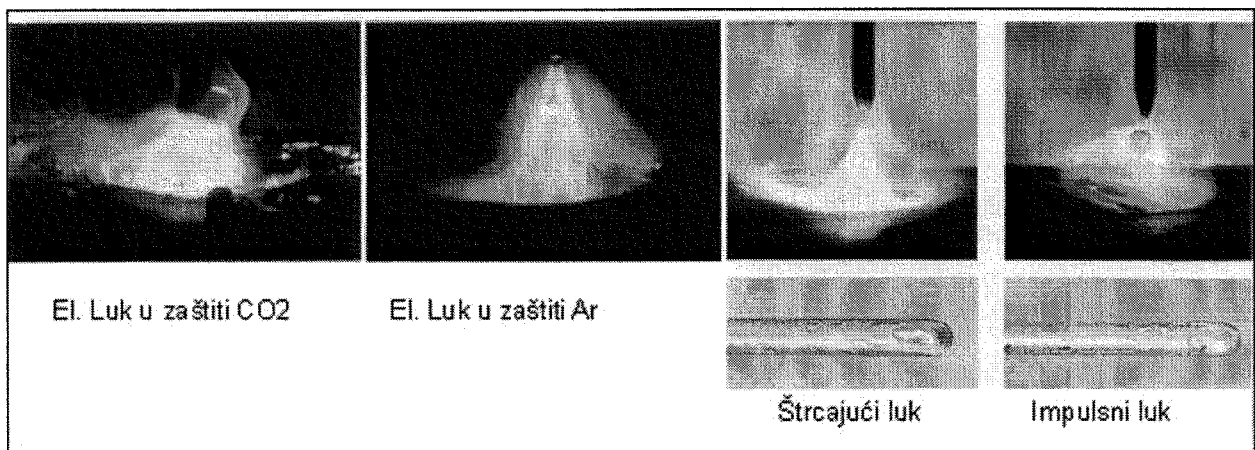
- vrsti zaštitnog plina
- načinu prijenosa metalnih kapljica u električnom luku

3.1. Prema vrsti zaštitnog plina

- MIG, zavarivanje u zaštitnoj atmosferi inertnih plinova (argon, helij i njihove mješavine)
- MAG, zavarivanje u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina (CO₂ i mješavine CO₂ s drugim plinovima)
Postoje i dopunske oznake za ovu varijantu,
 - MAGC, zavarivanje u zaštiti CO₂,
 - MAGM, zavarivanje u zaštiti mješavine plina, od kojih je jedan aktivan

3.2. Prema načinu prijenosa metalnih kapljica u električnom luku

- MAGk, elektrolučno zavarivanje topljivom žicom u zaštiti aktivnog plina, kod kojeg se prijenos materijala vrši kratkom spojevima (short arc, kratki luk)
- MAGi, elektrolučno zavarivanje topljivom žicom u zaštiti aktivnog plina, kod kojeg se prijenos materijala vrši krupnim kapljicama uz pojavu kratkih spojeva (mixed arc, mješoviti luk)
- MIGs ili MAGs, elektrolučno zavarivanje topljivom žicom u zaštiti plina, kod kojeg se prijenos materijala vrši u štrcajućem mlazu, bez kratkih spojeva (spray arc, štrcajući luk)
- MIGp ili MAGp, elektrolučno zavarivanje topljivom žicom u zaštiti plina, kod kojeg se prijenos materijala vrši impulsno, kontroliranim preletom kapljica bez kratkih spojeva (pulsed arc, pulzirajući ili impulsni luk).



4. Uvjeti za izvođenje MIG/MAG zavarivanja

Da bi se uopće mogao primijeniti ovaj postupak, potrebno je slijedeće:

- Uređaj (oprema) za zavarivanje
- Žica (dodatni materijal)
- Zaštitni plin

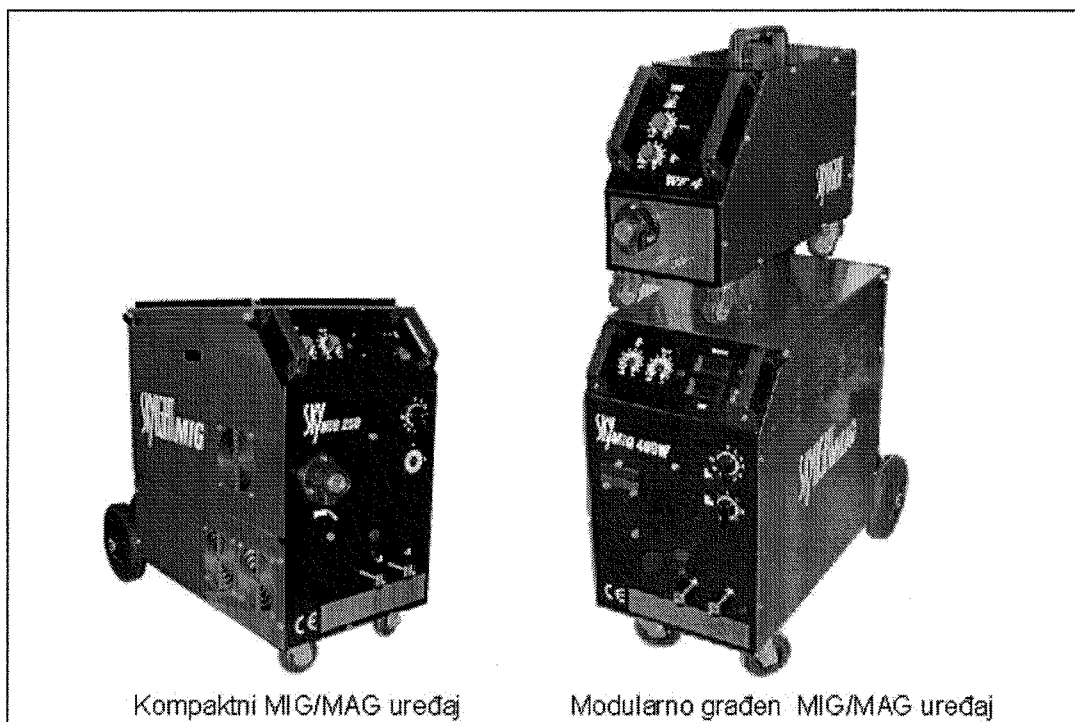
4.1. Uređaji za MIG/MAG zavarivanje

Uređaji za MIG/MAG zavarivanje u principu se sastoje od izvora struje, sustava za dodavanje žice, sustava za upravljanje protokom zaštitnog plina, upravljačkog sustava, gorionika (pištolja za zavarivanje), sustava za hlađenje gorionika tekućinom itd.

Po svojoj složenosti mogu biti vrlo jednostavni pa sve do programabilnih uređaja s ugrađenim računalom i velikom bazom podataka parametara zavarivanja. Odabir uređaja zavisi o primjeni, zahtjevima korisnika te naročito o financijskim mogućnostima korisnika.

Prema konstrukciji se dijele na:

- kompaktne uređaje, kod kojih su svi dijelovi smješteni u jednom kućištu
- modularne uređaje, kod kojih su izvor struje i uređaj za dodavanje žice s pripadajućim upravljanjima u odvojenim kućištima



Kompaktni MIG/MAG uređaj

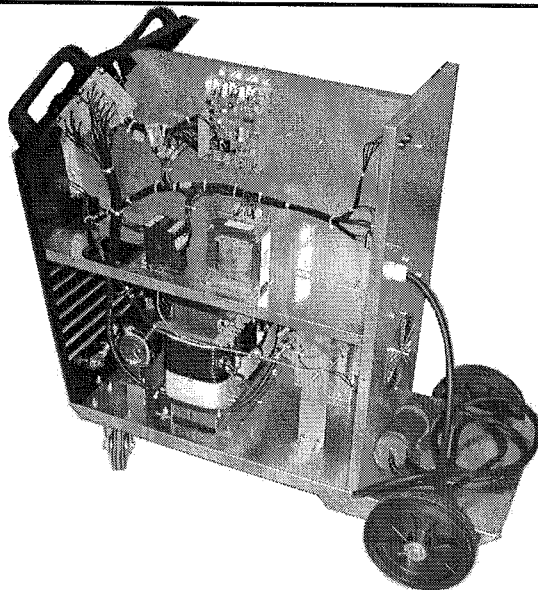
Modularno građen MIG/MAG uređaj

4.1.1. Izvori struje zavarivanja

Izvori struje za MIG/MAG zavarivanje su u principu izvori istosmjerne struje s ravnom (tvrdom) karakteristikom, kod kojih se napon može regulirati od 12-45V.

Prema načinu podešavanja napona dijele se na:

- izvore struje s mehaničkim podešavanjem (podešavanje sklopkama, stupnjevito podešavanje), koji su jednostavni, vrlo pouzdani i prihvatljivi po cijeni. Izrađuju se u veličinama 100 – 500A i primjenjuju se uglavnom za klasično MIG/MAG zavarivanje
- izvore s elektroničkim podešavanjem (tiristorski, invertorski). Kod njih se podešavanje napona vrši kontinuirano u cijelom području regulacije i uglavnom se izrađuju u veličinama 300 – 600A, zbog veće složenosti i cijene u odnosu na izvore sa sklopkama. Primjenjuju se za sve vrste MIG/MAG zavarivanja, a obavezno kod uređaja za impulsno MIG zavarivanje.



Otvoreni izvor (stupnjevito podešavanje)

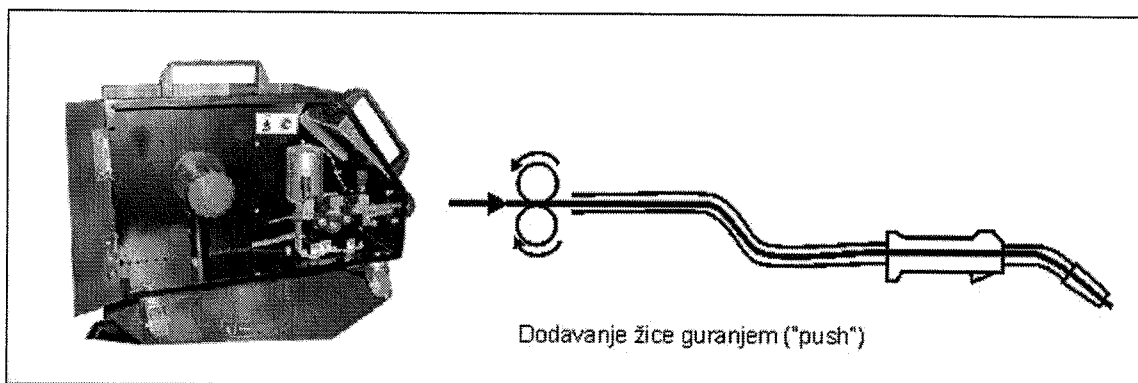
4.1.2. Sustavi i uređaji za dodavanje žice

Za dodavanje žice se najčešće koriste dva načina:

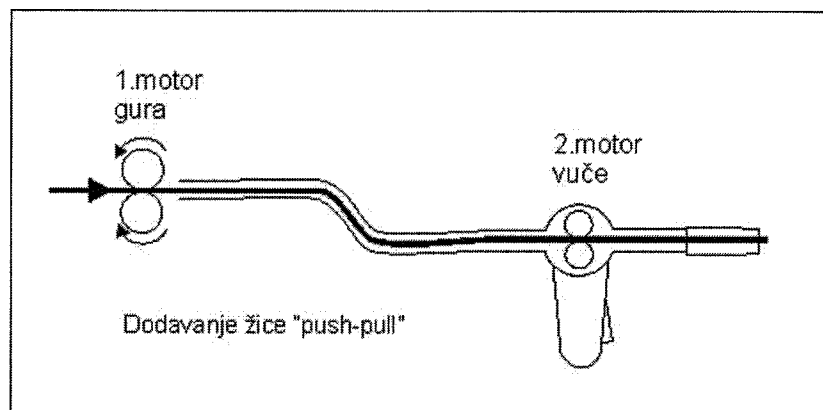
- žica se kontroliranom brzinom gura pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice u gorioniku do samog mjesta zavarivanja. Ovaj sustav je poznat pod imenom «push», a komercijalno je kod nas poznat još i kao A10. Kontrolirana brzina osigurava se elektronički reguliranim istosmjernim motorom, siguran pogon osigurava sa 2 ili 4 pogonska kotačića (valjka), koji žicu vode i guraju kroz kalibrirane utore (oblika V, U ili nazubljeni) čije dimenzije i oblik ovise o materijalu i promjeru žice. Pogonski sustav se kod kompaktnih uređaja ugrađuje u zajedničko kućište, a kod modularnih uređaja u posebno kućište uređaja za dodavanje žice.

Ovaj način omogućava efikasan rad s žicama promjera 0,6 – 2,4mm za čelike, 1,2-2,4mm za aluminij i njegove legure, te 1,0-2,4mm za praškom punjene žice. Za čelične žice je vodilica u gorioniku čelična (spiralna), za nehrđajući čelik i aluminij su vodilice najčešće teflonske.

Dodavanje žice guranjem omogućava sigurno dodavanje na udaljenostima 3-4m od izvora i danas se najčešće koristi u praksi.



- žica se kontroliranom brzinom gura («push») pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice do pogonskih kotačića u gorioniku, koji ih vuče («pull») do mjesta zvara. U ovom slučaju drugi pogonski motor se nalazi u ručki gorionika, a po svojoj izvedbi može biti električki ili zračni. Sustav je poznat pod imenom «Push-pull», a komercijalno kod nas kao A9. Prednost ovog sustava je stalna zategnutost žice u vodilici, što omogućava sigurno dodavanje i kod žica manjih promjera (0,8mm) i na udaljenostima do 15m od izvora. Mana postupka je njegova cijena i težina sustava gorionik/kabel, naročito kod većih struja i udaljenosti, stoga se on danas koristi uglavnom kod zavarivanja aluminija i njegovih legura na konstrukcijama gdje druga rješenja nisu moguća.



Obzirom da je zavarivanje na većoj udaljenosti i od izvora jedan od standardnih tehnoloških problema u zavarivanju koji su vezani za sustav dodavanja žice, navodim samo neka od najčešće korištenih rješenja:

- Odvajanjem uređaja za dodavanje žice od izvora, čime se bez problema postižu udaljenosti i do 30m. Problem predstavlja težak paket kablova koji je nezgodan za pomicanje i osjetljiv na mehanička oštećenja. Ovaj način je standardno u primjeni u brodogradnji i strojogradnji.
- Ugradnjom tzv. «međustanice» između izvora i gorionika. Međustanica je ustvari još jedan dodavač koji povlači žicu iz dodavača na izvoru i gura je kroz gorionik. U ovom slučaju brzine iz dodavača izvora i međustanice moraju biti sinhronizirane, sustav omogućava udaljenosti i do 50m. Problem i ovdje predstavlja težak paket kablova koji je nezgodan za pomicanje i osjetljiv na mehanička oštećenja, te uređaj međustanice koji je i skup i zahtijeva poseban matični uređaj za dodavanje žice. Ovaj način u primjeni uglavnom u brodogradnji.
- Korištenjem posebne izvedbe gorionika tzv. «spool gun», kod kojeg se pogon nalazi u ručki gorionika kao kod push-pull sustava, ali je i žica na manjem kolutu također smještena na ručki gorionika. Kolut sa žicom je promjera 100mm i može sadržavati najviše 1kg žice. Iz ovog je vidljivo da se ovaj način koristi samo za male promjere žice i to pretežno za aluminij (0,6-1,0mm). Ovim načinom postižu se udaljenosti od izvora do 15m bez većih problema, a i paket kablova nije težak.



4.1.3. Sustav za upravljanje protokom zaštitnog plina

Sustav za upravljanje protokom zaštitnog plina se sastoji od:

- Redukcionog ventila s mjerачem protoka, koji se priključuje na bocu s zaštitnim plinom. Današnji ventili su uglavnom namijenjeni i za argon i za CO₂ i za njihove mješavine. Željeni protok plina koji ovisi o parametrima zavarivanja podešava se na regulatoru protoka na ventilu.
- Elektromagnetskog ventila za otvaranje i zatvaranje protoka prema gorioniku i mjestu zavarivanja. On se uvijek nalazi oko uređaja za dodavanje žice, a redosljed otvara i zatvaranja protoka (predprotok, post protok) vrši se elektronički. Upravljački dio se redovito nalazi na upravljačkoj kartici regulatora brzine motora dodavača, jer je s njim i i sinhroniziran

4.1.4. Upravljački sustav uređaja za MIG/MAG zavarivanje

Upravljački sustav uređaja se u današnje vrijeme izvedu uglavnom elektronički, manje je ili veće složenosti zavisno od vrste uređaja u koji je ugrađen.

Svi upravljački sustavi neovisno od vrste izvora kontroliraju

- način uključivanja izvora struje radi uspostavljanja i gašenja električnog luka
- način otvaranja i zatvaranja protoka zaštitnog plina
- način početka, brzinu i završetak dodavanja žice

Kod potpuno elektronički upravljanih uređaja, upravljački sklop služi i za mjerenje i održavanje zadanih parametara konstantnim, kao i za kontrolirani prijenos kapljica kroz električni luk (izvori za impulsno zavarivanje).

Kod najsloženijih uređaja invertorske izvedbe, uređaj u klasičnom smislu praktički ne postoji, postoji samo jedan veliki, složeni, mikroprocesorom upravljani sustav s kojim se može zavarivati određenim postupcima. Kod ovakvih uređaja nema podešavanja parametara u klasičnom smislu, oni su tvornički uprogramirani u internu banku podataka iz koje se određenim načinom postavljaju prema zadanim tehnološkim uvjetima.

4.1.5. Gorionici (pištolji) za MIG/MAG zavarivanje

Uobičajeni nazivi ponovno dolaze iz njemačkog i engleskog govornog područja:

Gorionik za zavarivanje: Schweissbrenner, Welding torch

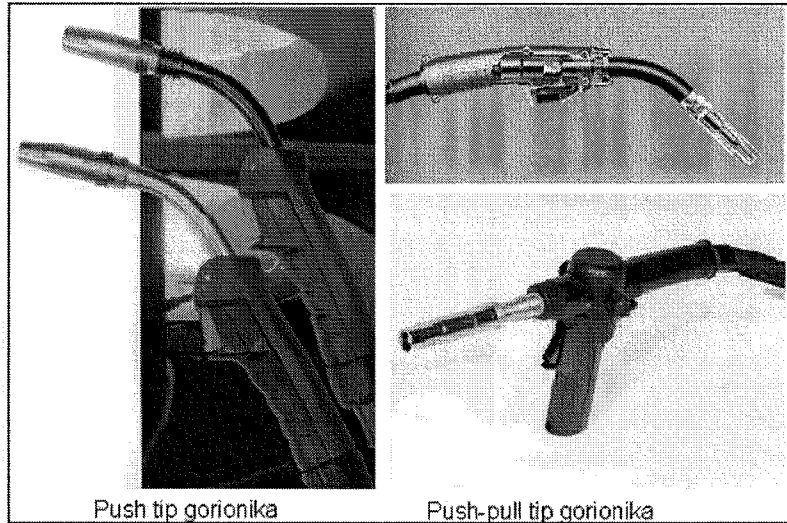
Pištolj za zavarivanje: Schweisspistole, Welding gun

Gorionik je zavarivačev osnovni alat kod MIG/MAG zavarivanja, vrh gorionika se praktično nalazi skoro u električnom luku, što znači da je on izložen vrlo velikim toplinskim i mehaničkim naprezanjima. Za struje 150-500A proizvode se gorionici bez posebnog hlađenja, za struje 250-600A proizvode se i gorionici hlađeni tekućinom (vodom).

Sastoji se od ručke gorionika, paketa kablova i centralnog priključka na uređaj.

Kroz gorionik prolazi žica za zavarivanje, struja zavarivanja, zaštitni plin, upravljački signali, a ponekad i rashladna tekućina, ukoliko je takva izvedba gorionika.

Gorionik kao element uređaja spada u potrošni materijal, a kod njega samoga postoje potrošni dijelovi koji se mijenjaju po potrebi, ovisno o režimu rada i zavarivaču (kontaktna vodilica, plinski razdjelnik, plinska sapnica, vodilica žice)

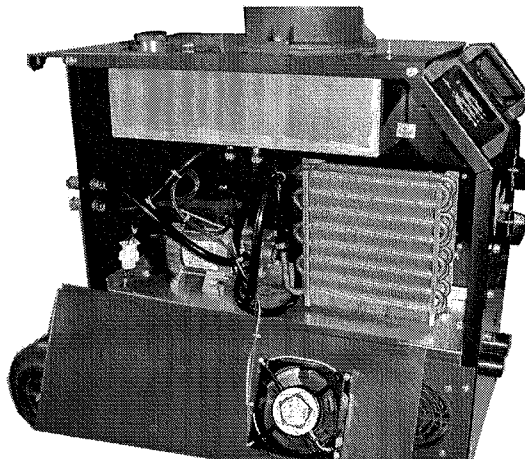


4.1.6. Sustavi za hlađenje gorionika tekućinom

Ovi sustavi se primjenjuju u teškoj metalnoj industriji, gdje se intenzivno zavaruje strujama velikim strujama štrcajućim impulsnim lukom.

To su obično zatvoreni rashladni sustavi koji se sastoje od pumpe, hladnjaka (radijatora), ventilatora i rezervoara, slično kao kod automobila.

Sustavi mogu biti ugrađeni u uređaj ili smješteni u posebnom kućištu van uređaja.



Integrirani sustav za hlađenje

4.2 Dodatni materijali za zavarivanje (žice)

Dodatni materijali se u procesu zavarivanja rastaljuju, te zajedno s talinom osnovnog materijala čine zavareni spoj. Svojim kemijskim sastavom utječu na zavarivačke i metalurške procese, te osiguravaju odgovarajuću kvalitetu zavarenog spoja (ili navara).

Kod MIG/MAG zavarivanja, dodatni materijali su u obliku žica namotanih na kolutove standardiziranih oblika i dimenzija:

Oznaka koluta	Vanjski promjer (mm)	Širina koluta (mm)	Promer rupe (mm)	Težina žice (kg)
D100	100	45	16,5	1,0
D200	200	55	50,5	5
D300	300	103	51,5	15

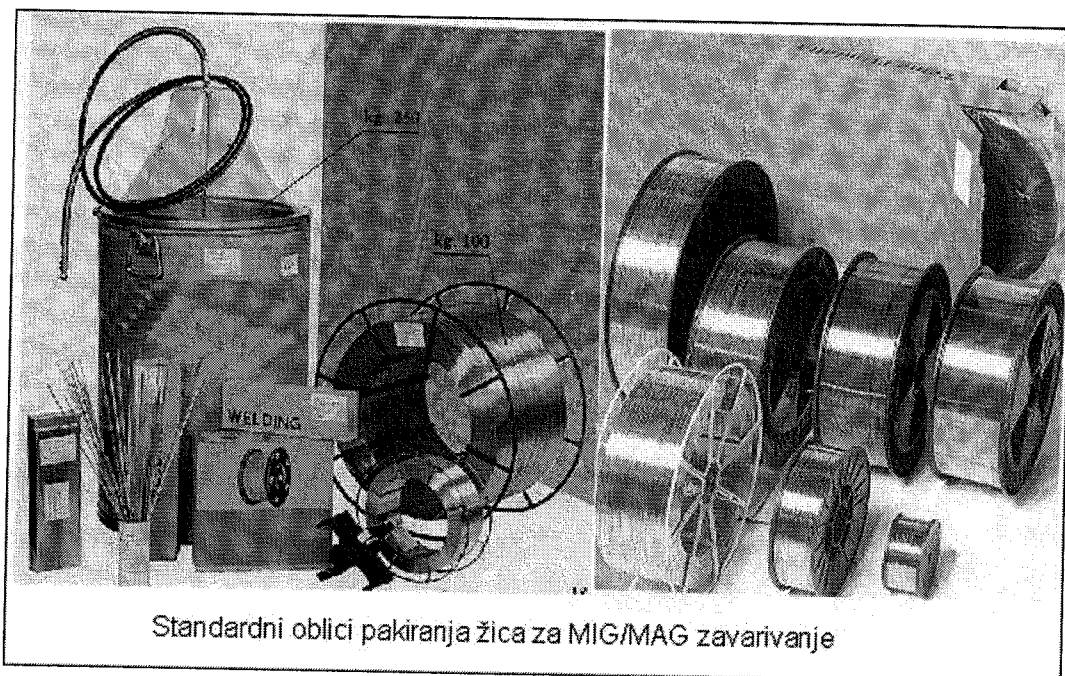
Žice za MIG/MAG zavarivanje se izrađuju kao pune i praškom punjene, standardiziranih promjera (mm):

Pune žice	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4		
Punjene žice		0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2

Da bi MAG zavarivanje bilo uopće moguće, žica mora bit posebnog kemijskog sastava. Tipično joj se dodaju 0,7-1,0% silicija (Si) i 1,3-1,6% mangana (Mn), koji sudjeluju kao dezoksidanti u kemijskoj reakciji s CO₂ koja se događa u električkom luku.

Za MIG zavarivanje CrNi čelika, aluminiija i njegovih legura, bakra i njegovih legura, proizvode se posebne vrste žica za svaku skupinu.

Žice su kao i većina ostalih stvari u zavarivanju standardizirane međunarodnim i nacionalnim standardima, prema tim standardima su žice obično i prikazane u katalozima proizvođača dodatnih materijala.



4.3. Zaštitni plinovi

Osnovna zadaća zaštitnih plinova kod MIG/MAG zavarivanja je stvoriti zaštitnu atmosferu u kojoj će se moći sigurno uspostaviti i stabilnim održavati luk, zaštićen od štetnog utjecaja plinova iz atmosfere.

Kao zaštitni plinovi koriste se argon (Ar), helij (He), ugljični dioksid (CO₂), a u nekim slučajevima se dodaju i vodik (H), dušik (N) i kisik (O).

Ar, He i CO₂ se mogu koristiti bez miješanja, ostali plinovi se dodaju u određenim omjerima radi povoljnijeg odvijanja kemijsko fizičkih procesa

Najčešća mješavina koja se koristi kod zavarivanja konstrukcionih čelika ima sastav 82% Ar+18% CO₂, a komercijalno je poznata kao Krysal ili Corgon.

5. Parametri zavarivanja i njihov izbor

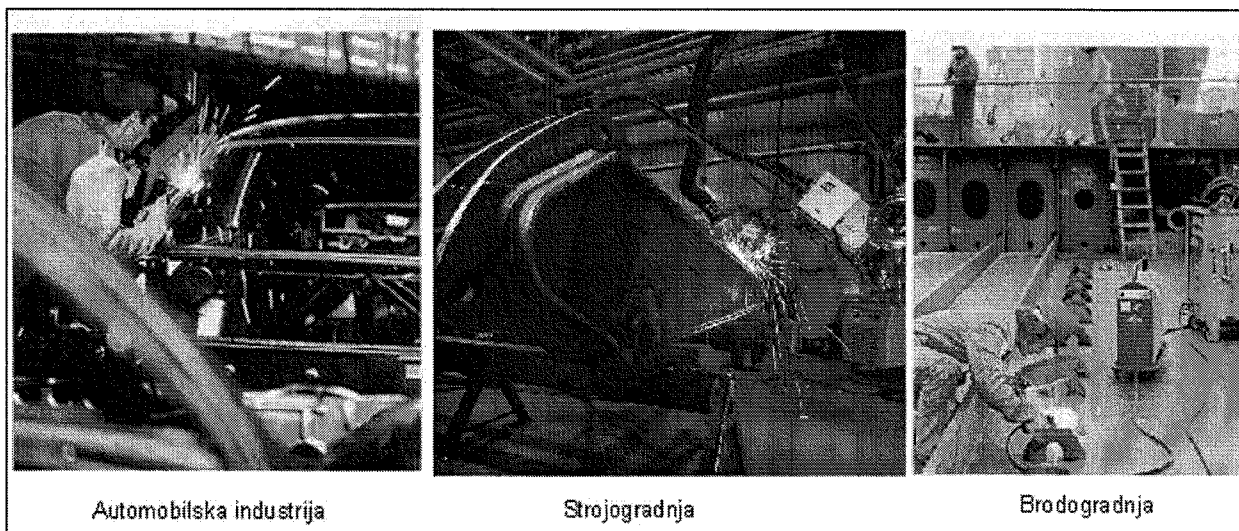
Parametre zavarivanja kod MIG/MAG nije jednostavno odabrati. Oni zavise o materijalu kojeg zavarujemo (vrsta, debljina), tehnološkim zahtjevima, uvjetima u kojima se zavarivanje odvija, položaju u kojem želimo ili možemo zavarivati, opremi koju imamo na raspolaganju, eventualnom stupnju mehanizacije, iskustvu zavarivača i.t.d. Stručna literatura, standardi primjene i zavarivački software uglavnom definiraju konkretne parametre za konkretne primjene.

Osnovni parametri koje treba uzimati u obzir kod MIG/MAG zavarivanja su slijedeći:

- struja zavarivanja (definirana brzinom i promjerom žice, utječe na količinu rastaljenog materijala u jedinici vremena)
- napon luka utječe na način prijenosa metala, te protaljivanje širinu i izgled zavara
- veličinu induktiviteta («toplina» luka)
- brzina zavarivanja (količina unesene topline, produktivnost)
- količina zaštitnog plina
- dužina slobodnog kraja žice

6. Primjena MIG/MAG postupka

MIG/MAG zavarivanje se primjenjuje u svim granama industrije.



Postupak je vrlo ekonomičan, a karakteriziraju ga:

- velika brzina zavarivanja (velika brzina taljenja materijala)
- veliki faktor gorenja luka (beskonačna žica)
- nema šljake za čišćenje

- manji utrošak dodatnog materijala
- manji utrošak energije
- manje vrijeme obuke zavarivača
- idealan za mehanizaciju

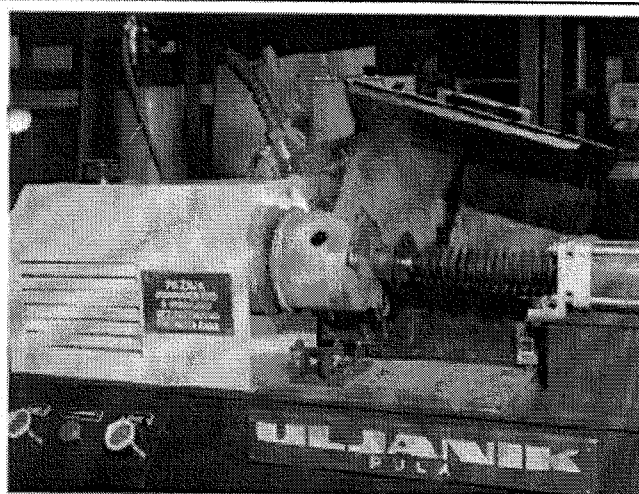
Mana postupka je problem otpuhivanja zaštitnog plina kod rada na otvorenom.

7. Mehanizacija i automatizacija MIG/MAG zavarivanja

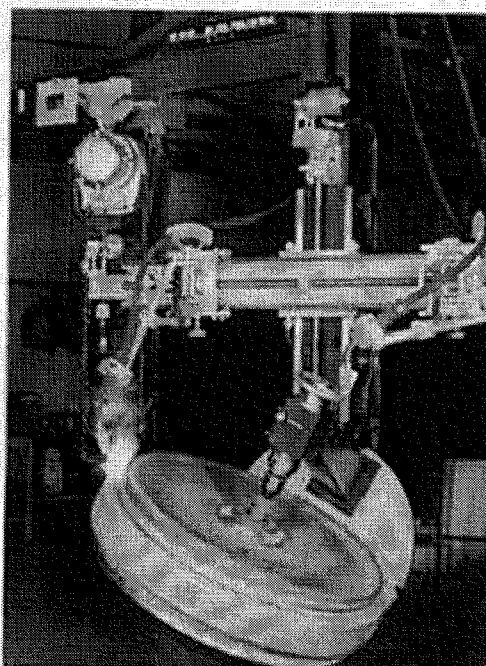
Postupak je izuzetno pogodan za sve stupnjeve mehizacije, od jednostavnih kružnih ili uzdužnih zava, do visokoproduktivnih automata kao dijelova proizvodnih linija. Najčešće primjene automatizacije odnose se na zavarivanje kružnih i (ili) uzdužnih zava (prirubnice, cilindri, priključci,...)



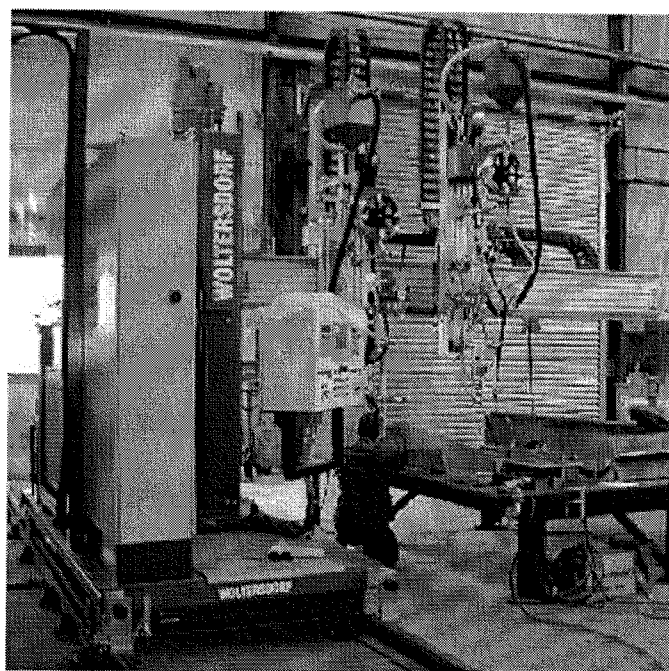
Zavarivanje priključaka



Zavarivanje kućišta kompresora



Navarivanje kotača

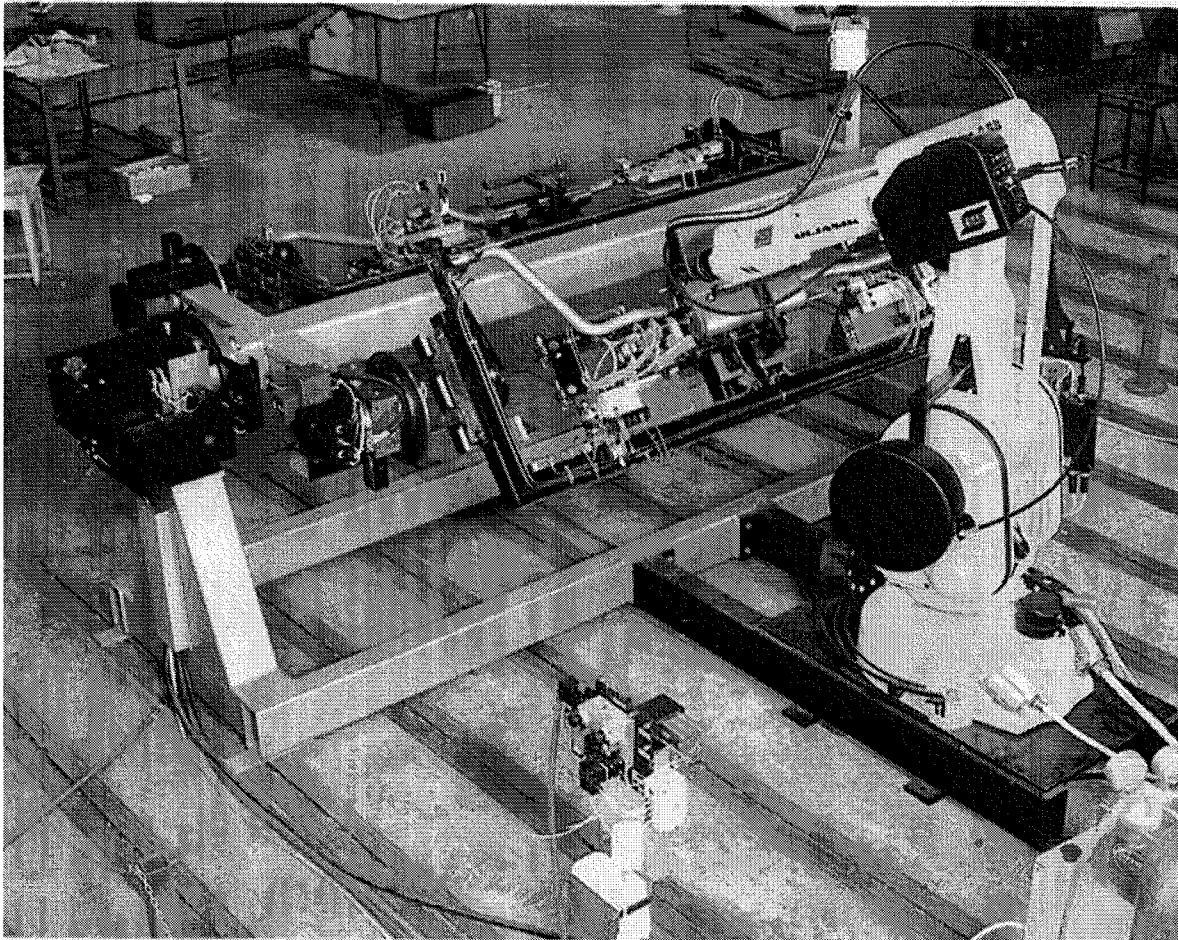


Zavarivanje profila

8. Robotizacija

Robotizacija je najviši stupanj automatizacije, koji pored brzine zavarivanja nudi i veliku fleksibilnost. Radni komadi ne moraju biti u velikim serijama, moguće je zavarivati i pojedinačne komade, koje robot može na odgovarajući način i «prepoznati» i sam odrediti program zavarivanja za tu poziciju.

Najčešća primjena robotike je u automobilskoj industriji i strojigradnji.



Robotska stanica za zavarivanje automobilskih ispušnih cijevi i lonaca

9. Zaključak

MIG/MAG je visokoproduktivni postupak zavarivanja s najširoom primjenom. Mogućnost kvalitetnog zavarivanja svih materijala, veliki broj specijaliziranih varijanti i odlične mogućnosti automatizacije čine ga danas vodećim postupkom zavarivanja.

RAD 2

ZAVARIVANJE U ZAŠTITI PLINA NETALJIVOM ELEKTRODOM TIG – GLAVNA OBILJEŽJA I PODRUČJA PRIMJENE





ZAVARIVANJE U ZAŠTITI INERTNOG PLINA NETALJIVOM ELEKTRODOM (TIG)

Glavna obilježja i područja primjene

Nihad Crnalić, dipl.ing., EWE
«Uljanik» Brodogradilište d.d., 52100 PULA, Flaciusova 1
Tel: 052 / 373 674 Fax: 052/ 373 271
E-mail: nihad.crnalic@uljanik.hr

Sažetak: U radu je opisan TIG postupak zavarivanja kroz opis glavnih obilježja postupka, opreme koja se koristi te način i područja primjene kod različitih materijala.

Ključne riječi: TIG postupak, zavarivanje

1. UVOD

Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina – u daljnjem tekstu skraćeno -TIG postupak zavarivanja(TIG-eng. Tungsten Inert Gas, WIG – njem. Wolfram Inert Gas, GTAW – Gas Tungsten Arc Welding) potječe iz 1941.g. kada se počeo razvijati za potrebe avioindustrije odnosno za zavarivanje lakih metala (aluminija i magnezija). Nakon toga se korištenje proširilo na izradu posuda za kemijsku i procesnu industriju od nehrđajućih čelika, aluminija i bakra.

Tijekom vremena uz poboljšanja vezana za izvore za zavarivanje, zaštitne plinove, netaljive elektrode, gorionike i ostalo TIG postupak zavarivanja se razvijao i uspješno se primjenjuje do današnjih dana.

Primjena TIG postupka raširena je u zavarivanju aluminija i Al-legura, nehrđajućih čelika, bakra i Cu-legura, magnezija i Mg-Legura te naravno za zavarivanje konstrukcijskih čelika. Koristi se za proizvodna zavarivanja, navarivanja i reparaturna zavarivanja.

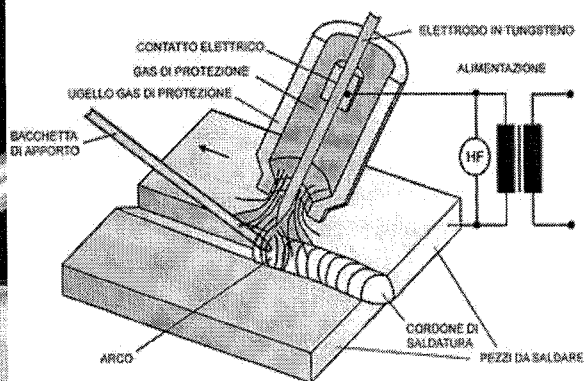
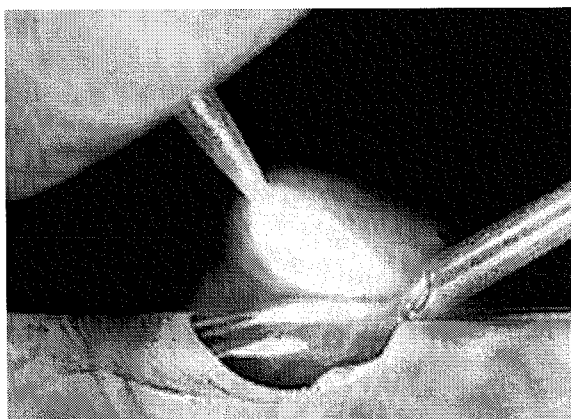
2. TIG POSTUPAK ZAVARIVANJA

2.1 Osnovne karakteristike postupka

Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina (TIG postupak) je postupak zavarivanja kod kojeg se električni luk (koji daje potrebnu energiju za zavarivanje) stvara između netaljive elektrode (volframove) i materijala koji se zavaruje.

Dodatni material najčešće u obliku šipke ili žice dodaje se u prednji rub kupke rastaljenog metala.

Inertni plin (uglavnom argon, helij) stvara zaštitnu atmosferu koja sprečava kontaminaciju volframove elektrode i rastaljene kupke materijala.



Slika 1. Prikaz Tig postupka

TIG postupak je precizan jer se elektroda ne troši tijekom zavarivanja (može se dobro kontrolirati proces) a dodatni materijal se po potrebi dodaje u kupku rastaljenog materijala.



TIG postupak može biti:

- ručni (najčešće)
- poluautomatski (sa automatskim dodavanjem žice)
- automatski (npr. orbitalno zavarivanje,...)

Prednosti TIG postupka:

- vrlo visoka kvaliteta zavarenog spoja
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja
- pogodan za reparaturna zavarivanja
- estetski lijep izgled zavara
- nema troske ("šljake") i prskotina

Nedostaci TIG postupka:

- kvaliteta zavara u velikoj mjeri ovisi o vještini zavarivača (dugo vrijeme izobrazbe)
- manja učinkovitost (mali depozit) u odnosu na npr. MIG zavarivanje

2.2 Izvori struje za TIG zavarivanje

Izvor struje ima padajuću karakteristiku kao kod REL postupka zavarivanja. Zbog toga većina novih strojeva ima mogućnost TIG i REL zavarivanja.

Uspostavljanje električnog luka:

- dodirivanjem volframove elektrode s radnim komadom tzv. "kresanje" (rijetko se koristi – mogućnost oštećivanja volframove elektrode i kontaminacija radnog komada)
- uz pomoć visokofrekventnog generatora (VF generator) – koji služi za uspostavljanje električnog luka bez dodira vrha volframove elektrode sa radnim komadom (DC I AC) te za održavanje stabilnosti električnog luka kod zavarivanja izmjeničnom strujom (AC)

Izvori struje za:

- standardno TIG zavarivanje
- impulsno TIG zavarivanje

Prednosti TIG impulsnog zavarivanja:

- stabilniji električni luk (ako se dobro odrede parametri)
- precizna kontrola penetracije
- smanjenje veličine taline zavara
- smanjenje deformacija

Vrste električne struje u primjeni sa izvorima za TIG zavarivanje:

- istosmjerna struja (DC) – uglavnom se koristi za zavarivanje "crnih" čelika, nehrđajućih čelika, legura bakra, ...
- izmjenična struja (AC) – uglavnom za zavarivanje aluminija i magnezija

Dodatni materijal proizvodi se uglavnom u obliku šipki za ručni postupak a u kolutu za poluautomatski i automatski postupak.

Standardni promjeri šipki (mm)								
Ø 0,6	Ø 0,8	Ø 1	Ø 1,2	Ø 1,6	Ø 2	Ø 2,4	Ø 3	Ø 4

Za svaku skupinu materijala (aluminij, konstr.čelik, nehrđajući čelik, ...) postoji klasifikacija dodatnih materijala i proizvode se različiti vrste šipki za različite vrste materijala koji se zavaruje.

2.3 Gorionik za ručno TIG zavarivanje

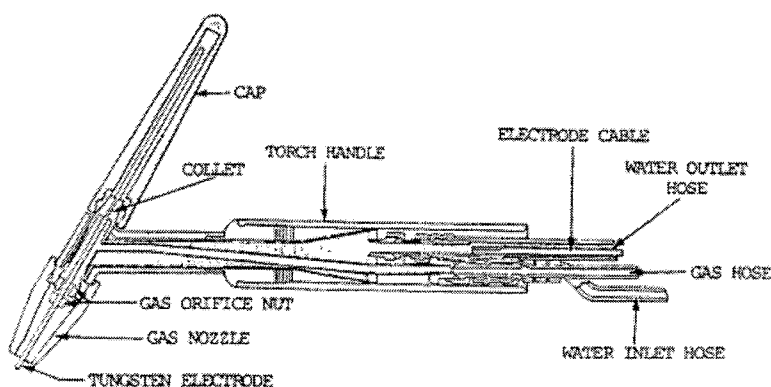
Osnovna podjela gorionika (pištolja):

- gorionici hlađeni zrakom – za manje jakosti struje i manju intermitenciju (najčešće do 200 A)
- gorionici hlađeni vodom – za veće jakosti struje i veću intermitenciju (uglavnom 200 do 600 A)

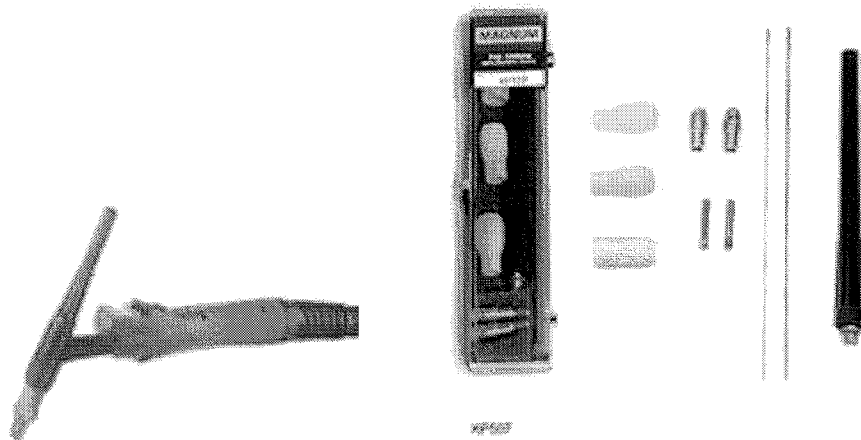
Gorionici se izrađuju u standardnim dužinama od 4m i 8m (ovisno o specifičnim potrebama kod korištenja) a biraju se prema korištenoj jakosti struje.

Tipični dijelovi gorionika su:

- držač za ruku (na/u njemu – prekidač + provodnici struje, plina, rashladnog sredstva)
- vodilica volframove elektrode
- rasprskivač plina
- kapa gorionika (duga ili kratka)
- volframova elektroda
- keramička sapnica za plin



Slika 3. Presjek gorionika sa sastavnim dijelovima



Slika 4. Tipičan izgled pištolja za ručno TIG zavarivanje i set rezervnih dijelova

2.3.1 Keramičke sapnice

Keramičke sapnice biraju se prema obliku mjesta zavarivanja odn. mogućnošću pristupa. Osnova je unutarnji promjer sapnice koji određuje geometriju i količinu zaštitnog plina.

Osnova kod izbora sapnica je promjer volframove elektrode :

- 1:5-1:6 omjer promjera volfr. elektrode i unutarnjeg promjera sapnice (volframova elektroda do \varnothing 2,4 mm)
- 1:4 omjer promjera volfr. elektrode i unutarnjeg promjera sapnice (volframova elektroda preko \varnothing 2,4 mm)

Najčešće se koriste keramičke sapnice unutarnjeg promjera od 10-18 mm.

2.3.2 Volframova elektroda

Volframova elektroda služi kao provodnik električne struje sa polkabela na radni komad. Talište volframa je na 3422°C pa se ne tali kod zavarivanja.

Elektrode se izrađuju iz :

- čistog volframa
- volfram sa dodacima torijevog oksida (ThO_2)
- volfram sa dodacima cirkonijeva oksida (Zr O_2)
- volfram sa dodacima lantanova oksida (La O_2)
- volfram sa dodacima cerijeva oksida (Ce O_2)

Torijev oksid je nisko-radioaktivni element dok ostali oksidi nisu.

Volframova elektroda bira se prema vrsti i debljini materijala (odnosno vrsti i jakosti struje zavarivanja) koji se zavaruje.



Primjer za izračunavanje pravilnog opterećenja volframove torirane elektrode:

$$100 \times \varnothing_{\text{elektrode}} \times k = I$$

gdje je k – koeficijent različit za različite vrste elektroda

Vrsta elektrode	W	WT10	WT20	WT30	WT40, WZ8, WL10
k_{\min}	0,45	0,4	0,35	0,3	0,5
k_{\max}	0,55	0,65	0,75	0,8	1

a) Označavanje volframovih elektroda

Oznaka (ISO)	Dodatak oksida (%)	Tip oksida	Boja
W	---	---	Zelena
WC20	1,8 – 2,2	CeO ₂	Siva
WL 10	0,9 – 1,2	La ₂ O ₃	Crna
WL 15	1,4 – 1,6	La ₂ O ₃	Zlatna
WL 20	1,9 – 2,1	La ₂ O ₃	Plava
WZ 8	0,7 – 0,9	ZrO ₂	Bijela
WT 10	0,8 – 1,2	ThO ₂	Žuta
WT 20	1,7 – 2,2	ThO ₂	Crvena
WT 30	2,8 – 3,2	ThO ₂	Ljubičasta
WT 40	3,8 – 4,2	ThO ₂	Narandžasta

b) Izbor volframovih elektroda prema vrsti materijala i struje

Materijal	Vrsta struje	Volframova el.
Al – legure	AC	Čisti volfram (ne preporuča se) ZrO ₂
Bakar	DC	ThO ₂
Legure bakra	AC	Čisti volfram, ZrO ₂
Nikal	DC	ThO ₂
Legure nikla	DC	ThO ₂
Legure magnezija	AC	Čisti volfram, ZrO ₂
Ugljični čelik	DC	ThO ₂
Niskolegirani čelik	DC	ThO ₂
Nehrđajući čelik	DC	ThO ₂
Legure titana	DC	ThO ₂

- Najviše se koriste torirane elektrode odnosno WT20 (crvena oznaka) zbog njihovih dobrih karakteristika (otpornosti na visoka opterećenja, niža granica minimalnog opterećenja, stabilan luk, trajnost i sl.)

Ukoliko želimo izbjeći torirane elektrode zbog njihove blage radioaktivnosti postoji alternativa:

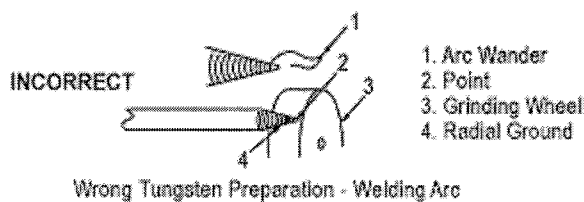
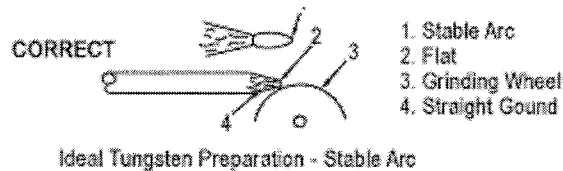
- Volframove elektrode WC20 (CeO_2) alternativa su WT20 kad se koristi DC struja nižih vrijednosti (kod struja viših vrijednosti oksid se uklanja iz elektrode).
- Volframove elektrode sa oksidima lantana (La_2O_3) približuju se otpornošću na eroziju toriranim elektrodama a mogu se koristiti i za zavarivanje AC strujom

c) Strujno opterećenje volframovih elektroda u ovisnosti o promjeru i vrsti struje

Promjer elektrode	DC (istosmjerna struja)				AC (izmjenična struja)	
	Elektroda neg.		Elektroda poz.		Čisti W W+oksid	Čisti W W+oksid
	Čisti W	W+oksid	Čisti W	W+oksid		
Ø 1,0	10-70	20-80	-	-	Do 15	Do 15
Ø 1,6	40-130	60-160	10-18	10-18	30-90	50-120
Ø 2,0	70-180	100-220	12-20	12-20	50-130	70-160
Ø 2,4	120-240	170-270	15-25	15-25	70-150	80-200
Ø 3,2	150-300	220-350	20-35	20-35	120-200	150-270
Ø 4,0	250-460	350-400	35-50	35-50	180-275	220-350
Ø 4,8	380-550	420-650	45-65	45-65	230-350	240-420
Ø 6,4	500-850	600-900	65-100	65-100	310-450	360-560

Brušenje volframovih elektroda :

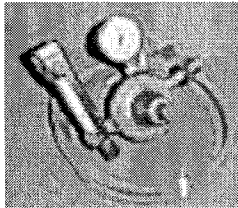
- pravilno u smjeru osi volframove elektrode (daje stabilan luk)
- nepravilno – u smjeru okomitom na os volframove elektrode



2.4 Zaštitni plinovi

- **Argon** – je najčešće korišten zaštitni plin kod TIG postupka zavarivanja (netoksičan, bez ukusa i mirisa, teži od zraka, negoriv plin). Što je veća čistoća argona to je zaštita bolja (najčešće 99,996%).

- **Argon + 2% do 5% H_2** - dodavanjem vodika u argon dobiva se čišći izgled zavara, daje više energije, brže zavarivanje i veću penetraciju. Loša strana je rizik od vodikovih pukotina kod ugljičnih čelika i poroznost kod aluminija.
- **Helij i mješavina helij/argon** – dodavanje helija u argon podiže temperaturu el. luka što povisuje penetraciju i brzinu zavarivanja. Loša strana je visoka cijena plina i otežano paljenje luka.

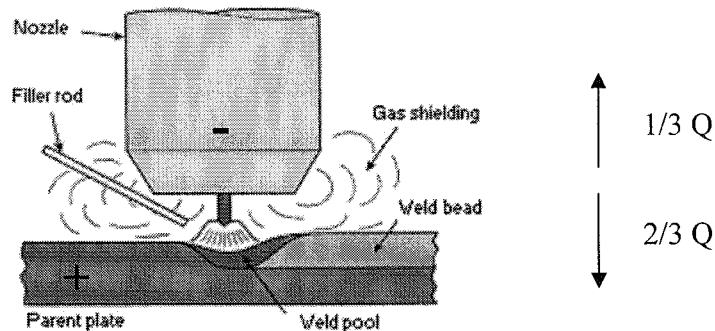


Regulator plina

3. PRIMJENA TIG POSTUPKA KOD ZAVARIVANJA RAZLIČITIH VRSTA MATERIJALA

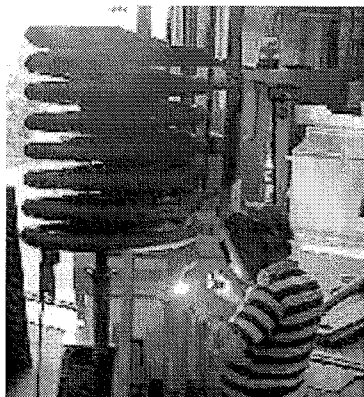
3.1 TIG postupak zavarivanja konstrukcijskih čelika

- Zavari konstrukcijskih čelika izvedeni TIG postupkom mogu se izvesti jako kvalitetno. Zbog sporosti postupka koristi se uglavnom za zavarivanje tankih limova i cijevi ili za zavarivanje korijenskog prolaza na debljim materijalima.
- Koriste se torirane volframove elektrode sa zašiljenim vrhom te promjerom ovisno o korištenoj struji zavarivanja
- Primjenjuje se DC struja, volfram elektroda na minus polu



Dvije trećine topline električnog luka prenosi se na pozitivni pol (radni komad) dok je jedna trećina topline razvija na minus polu (elektrodi). Elektroda na plus polu bi se pregrijavala.

- Priprema spoja: - I do 4 (3) mm bez zračnosti, - V od 4-10 mm (sa zračnošću između ivica)
- Pripremljeni spoj bez nečistoća i masnoća (kod nehrđajućih spojeva vrši se četkanje i odmašćivanje spoja)

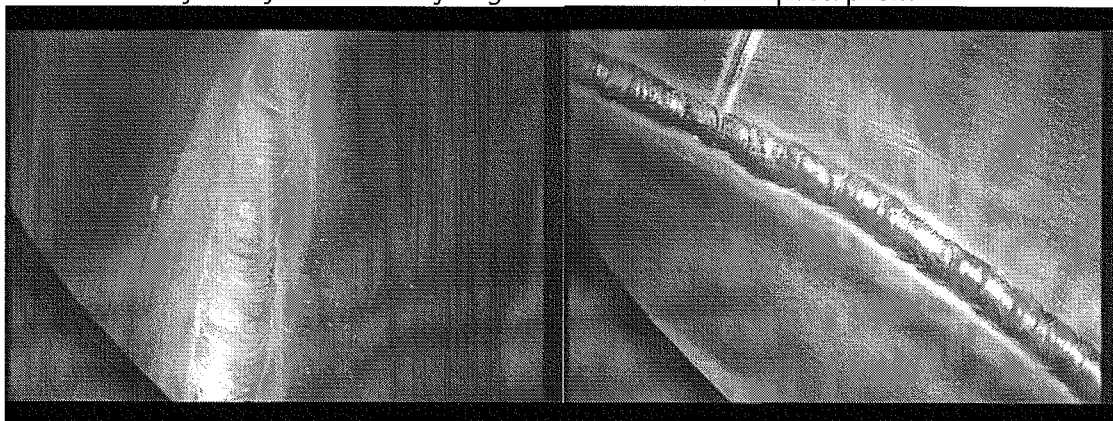


- Kod zavarivanja cijevi od nehrđajućeg čelika (SS) potrebno je zaštititi korijen zvara zaštitnim plinom (argon ili sl.). Zaštita korijena izvodi se pomoću specijalnih naprava koje osiguravaju zaštitnu atmosferu bez kisika (odn. sa malim promilima kisika).



SS cijevi zavarene na brodu

Slike unutrašnjosti cijevi iz nehrđajućeg čelika zavarene TIG postupkom



- Kod zavarivanja cijevi posebnu pozornost obratiti na točnost centriranja (što manje "smicanje" stijenke cijevi) koja je neophodna za kvalitetno izveden korijenski zavar

3.2 TIG postupak zavarivanja aluminija i aluminijских legura

- Kod zavarivanja aluminija najveći problem je njegova sklonost oksidaciji odnosno stvaranju aluminijeva oksida (Al_2O_3) na površini aluminija koji se nakon čišćenja brzo ponovno stvara te ometa spajanje taline osnovnog i dodatnog materijala. Al_2O_3 ima visoku točku tališta ($2050^{\circ}C$) za razliku od legura aluminija ($520-660^{\circ}C$) te veću specifičnu težinu pa se teško tali i lako uključuje u talinu zavara
- Primjenjuje se izmjenična AC struja za zavarivanje koja najuspješnije razara površinski sloj oksida (+ pol razbija kožicu, - pol hladi elektrodu)
- Volframova elektroda mora imati zaobljen vrh i koristi se cirkonirana elektroda ili čist volfram (ne preporuča se)
- Poroznost zavara je čest problem kod zavarivanja aluminija (nastaje zbog vodika koji potječe iz vlage i nečistoća na površini materijala ili žice). Zbog toga je spoj potrebno posušiti, očetkati i odmastiti prije zavarivanja

3.3 TIG postupak zavarivanja bakra i bakrenih legura

- Bakar i legure bakra (LB) dobro su zavarljive TIG postupkom zavarivanja.
- Specifičnost zavarivanja bakra i LB je njihova velika toplinska vodljivost (6x veća od čelika)
- Potrebna dobra zaštita taline zbog sklonosti kisiku i vodiku
- Najbitniji je pravilan izbor dodatnog materijala i predgrijavanje (kod većih debljina)
- Uglavnom se zavaruje istosmjernom strujom na minus polu
- Pripoje treba stavljati gusto te ih kod zavarivanja pretaliti (ili ako kod pripajanja cijevi nije korištena zaštita korjena, pripoje treba izvaditi)
- Spoj prije zavarivanja mora biti očišćen od nečistoća (četka od CrNi materijala za skošavanje, odmašćivanje acetonom ili alkoholom, čišćenje, brusnim kolutom ili brusnim papirom)
- Do 2,5mm I-priprema, >2,5 mm V-priprema bez zračnosti





4. ZAKLJUČAK

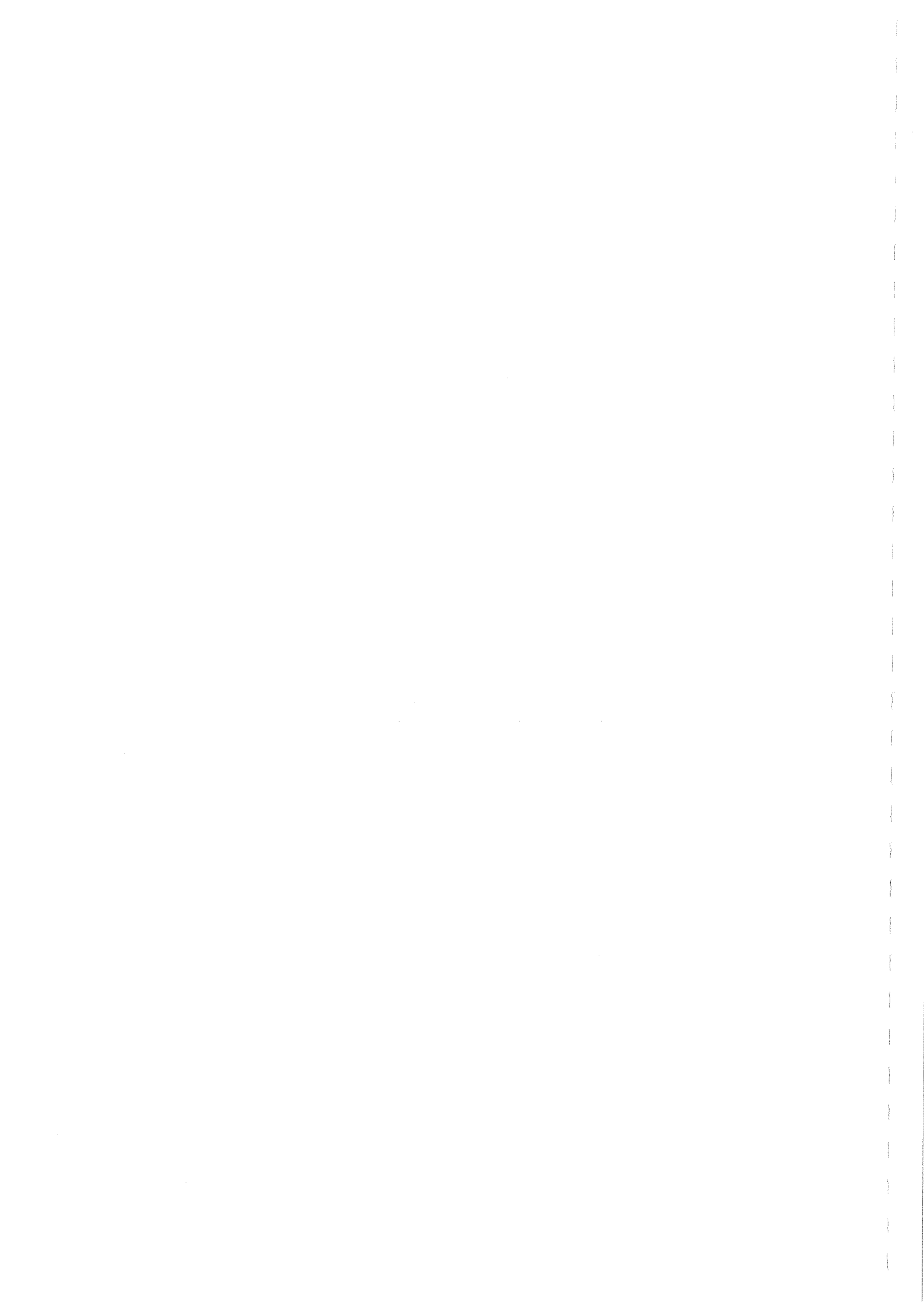
TIG postupak zavarivanja visoko je kvalitetan postupak koji ima puno prednosti pred ostalim postupcima ali ga njegova sporost, mali depozit i relativno visoka cijena opreme sprečava da se koristi u većoj mjeri.

Svugdje tamo gdje se traži visoka kvaliteta spoja, estetika zavara ili gdje su potrebna specijalna reparaturna zavarivanja ovaj postupak je dobar i opravdan izbor.



RAD 3

REL ZAVARIVANJE – GLAVNA OBILJEŽJA I PODRUČJA PRIMJENE





RUČNI ELEKTROLUČNI POSTUPAK ZAVARIVANJA

Goran Jurakić, dipl.ing., EWE, Mario Lovrić, dipl.ing., EWE
«Uljanik» Brodogradilište d.d., 52100 PULA, Flaciusova 1
Tel: 052 / 373 674, 373 638 Fax: 052/ 373 803, 373 811
E-mail: mario.lovric@uljanik.hr
tehnologija.gt@uljanik.hr

Ključne riječi: ručni elektrolučni postupak zavarivanja, obložena elektroda

Sažetak: *U radu je dan prikaz ručnog elektrolučnog postupka zavarivanja, s posebnim osvrtom na dodatne materijale, odnosno obložene elektrode. Osim temeljnih principa u radu su dani i neki korisni savjeti za odabir elektroda i rukovanje njima, a može poslužiti za osvježanje teorijskog znanja onih koji se više bave zavarivanjem, bilo kao izvođači ili kao rukovoditelji zavarivačkih radova.*

1. UVOD

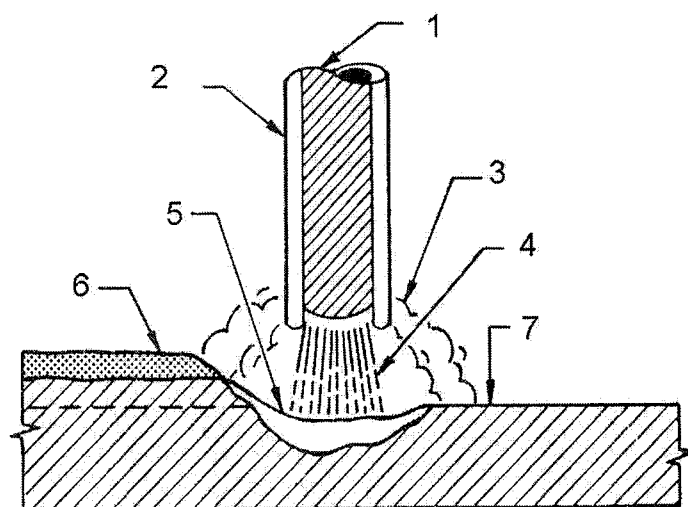
Ručno elektrolučno zavarivanje, ili skraćeno REL je postupak ručnog zavarivanja, gdje se između obložene elektrode i metala koji zavarujemo stvara električni luk. Električni luk daje energiju koja topi metal koji zavarujemo (osnovni materijal) i obloženu elektrodu (dodatni materijal), stvarajući zavareni spoj.

Pravi početak ručnog elektrolučnog zavarivanja, možemo smatrati 1907. godinu kad je Oscar Kjellberg izradio prvu elektrodu s oblogom. Od tada pa do danas REL postupak postaje jedan od najrasprostranjenijih, a obložene elektrode počinju se primjenjivati za zavarivanje gotovo svih vrsta metala i njihovih legura koje se mogu zavariti taljenjem. Gotovo sve prve zavarene čelične konstrukcije zavarene su u potpunosti ili pretežno REL postupkom. Reparativna zavarivanja su i danas teško zamisliva bez ovog postupka. Zbog jednostavne i jeftine opreme svaka veća radionica, pa i ona hobi, koristi ovaj postupak. U posljednjih tridesetak godina ručno elektrolučno zavarivanje postaje potiskivano od strane poluautomatskog postupka zavarivanja u zaštiti plina (MAG), no zbog svoje prilagodljivosti svim uvjetima rada i obliku osnovnog materijala, te mobilnošću još će dugo odolijevati, čak i u isključivo zavarivačkim granama industrije, kao što je npr. Brodogradnja.

2. OSNOVE POSTUPKA RUČNOG ELEKTROLUČNOG ZAVARIVANJA

2.1 Osnovni princip REL postupka

Princip postupka ručnog elektrolučnog zavarivanja sastoji se u tome da električni luk gori između metalne obložene elektrode, koja se tali i osnovnog materijala. Električna energija za ovaj postupak dolazi iz izvora koji može biti transformator, ispravljač (diodni, tiristorski ili invertorski) ili pretvarač. U el. luku električna energija se pretvara u toplinsku koja je potrebna za taljenje. Taljenjem jezgre i obloge elektrode stvara se odgovarajuća količina rastaljenog materijala, troske i plina. Tekuća troska pokriva metalnu kap za vrijeme prolaza kapi kroz električni luk, a dodatnu zaštitu metalne kapi stvaraju dimni plinovi koji nastaju iz komponenata obloge. Zbog ovakvog dvostrukog načina zaštite ovaj postupak je vrlo siguran za zavarivanje, čak i na otvorenom području.



Sl. 1 Shematski prikaz gorenja luka kod REL postupka



- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1. Jezgra elektrode | 5. Rastaljeni metal |
| 2. Obloga elektrode | 6. Skrutnuta troska |
| 3. Zaštitni plinovi | 7. Osnovni metal |
| 4. Električni luk | |

2.2 Parametri zavarivanja i utjecajni elementi REL postupka

Za razliku od nekih automatskih i poluautomatskih postupaka utjecaj zavarivača na kvalitet zavarenog spoja je vrlo velik. Razlog tomu leži u tome da veći broj utjecajnih elemenata i parametara ovisi o uvježbanosti zavarivača, te kod ovog postupka valja posebnu pažnju posvetiti stjecanju znanja i vještina zavarivača.

Utjecajni parametri su:

- jakost, vrsta i polaritet struje
- dužina el. luka
- brzina zavarivanja
- nagib elektrode
- poprečna kretanja elektrode
- uspostavljanje i prekidanje el. luka
- položaj zavarivanja
- temperatura predgrijavanja

Jakost struje zavarivanja ovisi o tipu i promjeru elektrode, vrsti spoja, debljini osnovnog materijala i položaju zavarivanja. Povećanjem dimenzije (promjera) elektrode povećava se i jakost struje zavarivanja, jer je potrebna veća količina topline za taljenje elektrode. Ako je točka taljenja obloge elektrode viša, potrebna je veća jakost struje za zavarivanje. Obično se za elektrode normalnog stupnja iskorištenja uzima jakost struje oko 40 A/mm promjera elektrode. Visokoučinske elektrode trebaju veću jakost struje nego elektrode normalnog stupnja iskorištenja. Jakost struje koja će biti potrebna za neku visokoučinsku elektrodu ovisi o količini željeznog praha u oblozi elektrode. Pri zavarivanju u vertikalnom položaju uzima se 10 do 20 % manja jakost struje nego pri zavarivanju u horizontalnom položaju. Pri zavarivanju visokolegiranih čelika također je potrebna manja jakost struje zbog visokog omskog otpora visokolegiranih čelika. Zbog toga se visokolegirane elektrode lakše pregrijavaju nego elektrode za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika.

Vrsta struje ovisi o tipu obloge elektrode. Bazične elektrode najčešće se upotrebljavaju na istosmjernu struju, plus (+) pol.

Ostali tipovi elektroda mogu se upotrebljavati na izmjeničnu i istosmjernu struju. Pogrešno odabrana vrsta struje ili polaritet dovode do pojave poroznosti u zavaru, povećanog prskanja materijala i manje stabilnosti električnog luka.

Dužina električnog luka je udaljenost jezgre elektrode od osnovnog materijala, a ovisi o vrsti elektrode. Kod kiselih i rutilnih elektroda dužina električnog luka je približno jednaka promjeru elektrode. Kod bazičnih elektroda, visokolegiranih elektroda i elektroda za zavarivanje obojenih metala dužina električnog luka je nešto manja. Pri prekomjernom povećanju dužine električnog luka zagrijavanje materijala je slabije, slabija je i zaštita rastaljenog metala, a povećava se



gubitak materijala zbog prskanja. Kratak električni luk dobro zagrijava osnovni materijal i daje dubok uvar.

Brzina zavarivanja ovisi o tehnici rada, vrsti i dimenzijama spoja, vrsti osnovnog materijala i tipu obloge. Ako se za vrijeme zavarivanja izvode poprečna kretanja elektrode, brzina zavarivanja je manja. Pri zavarivanju rutilnim i mineralno kiselim elektrodama postižu se veće brzine zavarivanja nego pri radu bazičnim elektrodama. Zavarivanje visokolegiranih Cr_Ni čelika izvodi se u većim brzinama zavarivanja, jer se tako manje topline unosi u osnovni materijal.

Nagib elektrode utječe na dužinu električnog luka i penetraciju. Ako je elektroda više nagnuta, dužina električnog luka je veća, što naročito štetno utječe pri radu bazičnim elektrodama. Ako je elektroda okomitija luk je kraći, snaga luka je veća, pa je veća i penetracija. Pri zavarivanju u prisilnim položajima, npr. u vertikalnom položaju, nagibom elektrode pridržava se talina i time utječe na oblik zavara.

Poprečna kretanja elektrode su ona okomito na smjer zavarivanja. Veličina poprečnih kretanja utječe na širinu zavara i količinu unesene topline u osnovni materijal. Ako su poprečna kretanja veća, veća je širina zavara i više se topline unosi u osnovni materijal.

Temperatura predgrijavanja je faktor koji u prvom redu ovisi o zavarljivosti osnovnog materijala i njegove debljine. U pravilu, povećanjem sadržaja ugljika u čeliku, odnosno povećanjem postotka drugih legiranih elemenata smanjuje se zavarljivost čelika što zahtjeva višu temperaturu predgrijavanja. Pri zavarivanju debljih radnih komada, tj. kada je debljina osnovnog materijala 30 mm i više također treba predvidjeti predgrijavanje osnovnog materijala, a ponekad čak i dogrijavanje.

Najčešće greške kod zavarivanja, naročito bazičnim elektrodama pojavljuju se kod nepropisnog **uspostavljanja i prekidanja el. luka**. Kod uspostavljanja el. luka u završnom krateru prve kapljice još nedovoljno zaštićenog metala elektrode padaju na hladni metal inače problematičnog završnog kratera. Zato je osnovno pravilo u izvođenju nastavaka da se el. luk nikad ne uspostavlja u završnom krateru.

3. OBLOŽENE ELEKTRODE

3.1 Funkcija obloge

Obloga elektrode u procesu zavarivanja vrši tri složene funkcije: električnu, fizikalnu i metaluršku. **Električna funkcija** sastoji se u tome da osigura dobro uspostavljanje i stabilan električni luk. U tu svrhu dodaju se tvari (spojevi natrija i kalija) u oblogu elektrode koje kod taljenja stvaraju plinove s velikom sposobnošću ionizacije i na taj način čine dobru provodljivost.

Fizikalna funkcija sastoji se u tomu da olakša i omogući zavarivanje u prisilnom položaju, te da izvrši zaštitu taline i kapljica u prelazu te da zaštiti zavar od prenapona i hlađenja. Sadržaj obloge utječe na napetost površine i viskoznost (prionjivost), što utječe na oblik svakog pojedinog sloja zavara i omogućuje zavarivanje u prisilnim položajima. Druga fizikalna funkcija je zaštita rastaljenog metala od štetnih plinova iz zraka.



Metalurška funkcija je u njenom metalurškom djelovanju na zavareni spoj u procesu zavarivanja. Razlikuju se tri načina toga djelovanja: legiranje, otplinjavanje i rafinacija. Legiranje iz obloge je nadoknađivanje legirajućih elemenata koji izgaraju u toku procesa zavarivanja. Otplinjavanje je uklanjanje kisika i vodika iz taline zavara, preko dezoksidanata, odnosno kalcijeva fluorida koji uklanja vodik, dok rafinacija podrazumijeva uklanjanje sumpora i fosfora, putem kalcijeva i manganova oksida. Svi ovi štetni elementi se vežu i izlaze u trosku.

3.2 Osnovna podjela elektroda

Prema vrsti i metalurškoj karakteristici obloge elektrode dijelimo na:

- elektrode s bazičnom oblogom
- elektrode s rutilnom oblogom
- elektrode s celuloznom oblogom
- elektrode s kiselom oblogom
- elektrode s oksidirajućom oblogom

Prema debljini obloge elektrode dijelimo na:

- tanko obložene elektrode
- srednje obložene elektrode
- debelo obložene elektrode. Ove elektrode u svojoj oblozi imaju najčešće određene količine željeznog praška, koji povisuje produktivnost zavarivanja

Prema promjeru elektrode standardne elektrode su: $\Phi 2$; $\Phi 2,5$; $\Phi 3,25$; $\Phi 4$; $\Phi 5$; $\Phi 6$

3.3 Osnovna pravila u izboru elektroda

Pri izboru elektrode promatra se niz elemenata. Najvažniji je izbor elektrode prema osnovnom materijalu, a obavlja se prema svojstvima osnovnog materijala i zahtjevima zavarenog spoja.

Za zavarivanje nelegiranih čelika elektroda se odabire prema mehaničkim svojstvima osnovnog materijala. Zatezna čvrstoća, istežljivost i žilavost metala zavara moraju biti jednake ili veće nego kod osnovnog materijala. Ako se izrazito traži povećana žilavost, odabire se bazična elektroda. Kod zavarivanja debelih materijala i ukrućenih konstrukcija ili fosforom i sumporom onečišćenih čelika u pravilu se bira bazična elektroda.

Za zavarivanje niskolegiranih čelika izabire se elektroda koja ima odgovarajuće mehaničke osobine i kemijski sastav osnovnog materijala, i to tako da metal zavara ima te ili bolje osobine. Kod debljih materijala s više legiranih elemenata prednost imaju elektrode s bazičnom oblogom.

Za zavarivanje nelegiranih s niskolegiranim čelicima u izboru elektrode vrijedi ovo pravilo: kod sučeljenih spojeva bira se elektroda koja odgovara manje-vrijednom materijalu, a kod kutnih spojeva bira se elektroda više-vrijednih materijala.

Za zavarivanje visokolegiranih čelika izbor elektrode vrši se uglavnom prema kemijskom sastavu i mehaničkim osobinama osnovnoga materijala, i to tako da metal zavara ima ista ili bolja navedena svojstva.

Za zavarivanje visokolegiranih čelika s niskolegiranim ili nelegiranim čelicima redovito se bira visokolegirana austenitna elektroda. Međutim, kod ovakvih zavarivanja treba dobro



poznavati probleme zavarivanja raznorodnih čelika i zavisno od slučaja određuje se elektroda. Mogu biti i dvije vrste elektroda, jedna za prijelazni sloj, a druga za ostale slojeve.

Za zavarivanje sivoga lijeva na hladno najpogodnije su nikal-elektrode, zatim bakar-nikal (monel-metal)-elektrode i željezo –nikal elektrode. Najslabije su bazične elektrode, iako se u određenim slučajevima i s njima može zavarivati sivi lijev.

Za zavarivanje obojenih metala nema velikog izbora elektroda, pa se i ne može značajno pogriješiti.

Za navarivanje čelika postoji širok izbor odgovarajućih elektroda. Za tvrda navarivanja biraju se uglavnom elektrode kod kojih navar daje potrebnu tvrdoću. Za navarivanje otporno na koroziju biraju se elektrode visokolegirane s kromom. Za navarivanje otporno na habanje biraju se elektrode visokolegirane s manganom itd.. Za navarivanje ostalih metala koriste se odgovarajuće elektrode.

Izbor elektroda s obzirom na tehnološka svojstva. Za zavarivanje u prisilnim položajima odabiru se uglavnom sve tankoobložene i srednje obložene elektrode. Debeloobložene i visokoučinske elektrode nisu dobre za zavarivanje u prisilnim položajima. Ima posebno izrađenih elektroda za zavarivanje u vertikalnom položaju odozgo na dolje. Za zavarivanje korijena zavara na cijevovodima najbolje su celulozne elektrode.

Izvor struje i izbor elektroda. Ako su izbori struje transformatori, odabiru se uglavnom rutilne i kisele elektrode, odnosno elektrode izrađene za rad sa izmjeničnom strujom. Sa istosmjernom strujom, odnosno sa ispravljačima i pretvaračima dobro se zavaruju sve vrste elektroda. Visokolegirane elektrode uglavnom se zavaruju sa istosmjernom strujom, izuzeci su specijalno izrađene elektrode za izmjeničnu struju.

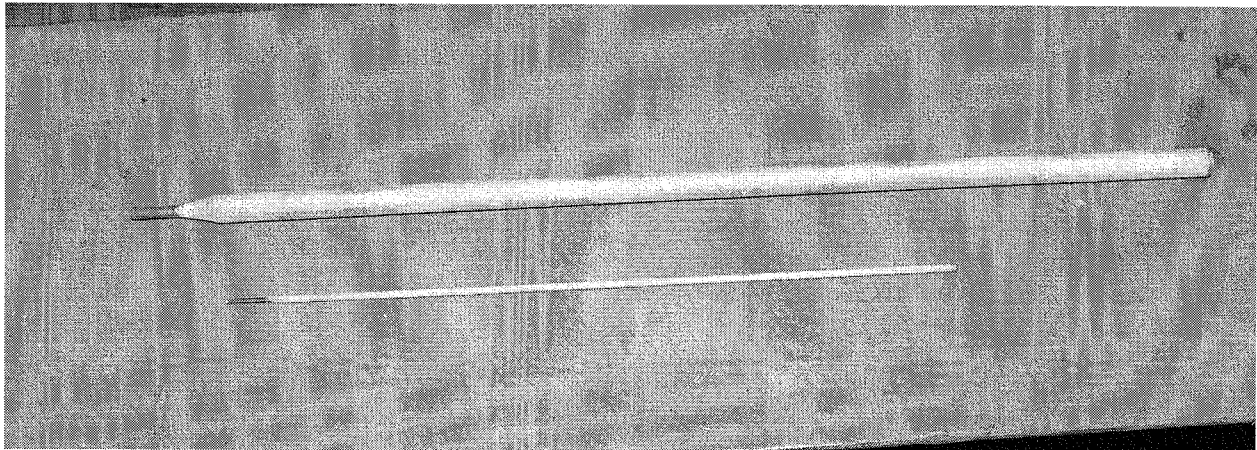
Promjer elektrode prema debljini osnovnog materijala i položaja zavarivanja. Bira se na osnovi iskustava. Za zavarivanje korijena zavara redovito se izabiru elektrode promjera 2-3,25 mm, ovisno o debljini materijala, i to tako da se elektrodom može izvršiti dobro provarivanje korijena zavara. Za ostale slojeve odabire se onaj promjer elektrode koji sjeda na dno žlijeba, odnosno na plošeni korijen zavara. Za zavarivanje u prisilnim položajima izabire se uglavnom promjer elektrode 2,5-3,25 mm, katkad i 4 mm.

Jakost struje s obzirom na promjer, vrste elektrode i položaja zavarivanja. Odabire se prema preporukama proizvođača elektroda i prema iskustvu. Za zavarivanje čeličnim obloženim elektrodama u vodoravnom položaju jakost struje iznosi oko 20-40 ampera po jednom milimetru promjera elektrode. Pri zavarivanju u prisilnim položajima jakost struje smanjuje se za 15-20 %. Pri zavarivanju visokolegiranih čelika također se smanjuje jakost struje za oko 15-20 % one koja se primjenjuje za zavarivanje nelegiranih čelika. Kod zavarivanja sivoga lijeva jakost struje je još manja.

Izbor elektrode s obzirom na ekonomičnost. Promatra se koeficijent taljenja, koeficijent gubitaka i koeficijent iskorištenja elektrode, koji je različit kod različitih vrsta elektroda. Ovi koeficijenti se mogu dobiti ispitivanjem navedenih svojstava elektroda. Gdje je moguće preporučuje se korištenje debeloobloženih visoko učinskih elektroda. Debeloobložene visokoučinske elektrode su



posebno pogodne za primjenu na debelim limovima u vodoravnom položaju, dok su ograničavajući faktori prisilan položaj, tanak lim i nedovoljna snaga izvora struje. Na slici je prikazana najučinkovitija elektroda koja se koristi u Brodogradilištu s dodatkom od 150% metalnog praha u svojoj oblozi (ukupno s jezgrom učinak je 250%), i kao njena suprotnost najtanja elektroda, koja se također koristi u Brodogradilištu. Odnos učinka ovih elektroda iznosi nevjerojatnih **1 : 20**



Sl. 2 Najučinkovitija i najmanje učinkovita elektroda, a obje imaju svoju primjenu u brodogradnji

3.4 Osnovna pravila u rukovanju elektrodama

U rukovanju elektrodama važna su slijedeća pravila:

Elektrode se moraju uskladištiti u suhoj prostoriji koja se zimi treba zagrijavati.

Zahrđale, masne, oštećene ili nepoznate elektrode ne smiju se upotrebljavati u zavarivanju.

Elektrode dobro zatvorene od pristupa zraka, u nepoderanoj najlonskoj vrećici ili u limenoj zalemljenoj kutiji ne treba prije upotrebe sušiti, naročito pri zavarivanju konstrukcija koje zahtjevaju visoke kvalitete zavarenog spoja.

Ako se zavarivanje obavlja u vlažnom prostoru, elektrode treba držati na suhom mjestu. Bazične elektrode koje su u otvorenoj kutiji više od 4 sata smatraju se vlažnima i treba ih sušiti.

Sušenje elektroda vrši se u posebnim pećima za sušenje s mogućnosti regulacije temperature sušenja. Osim tih peći, zavarivač bi, pri zavarivanju s bazičnim elektrodama, trebao imati na radnom mjestu posebnu prenosnu peć (tobolac). U toj peći održava se jednaka temperatura (60-100 °C), tako da za vrijeme rada ne dođe do vlaženja elektrode.

Elektroda se ne smije uzimati masnim rukavicama. Masnoća na elektrodi uzrokuje poroznost u zavarenu spoju.

Temperaturu sušenja elektroda preporučuje proizvođač elektroda. Kisele i rutilne elektrode sušimo na temperaturi 100-120 °C a bazične 200-300 °C.

Obložene elektrode s vremenom ostare. Ako su elektrode (svih tipova) jako stare mogu se primijetiti na površini obloge bijeli mali kristali, kao rezultat kemijskih reakcija sastavnih dijelova obloge. S takvim se elektrodama ne smiju zavarivati važni spojevi.

Vlažne elektrode prepoznavamo po zvuku udara jedne o drugu: suhe elektrode daju oštar i visok zvuk, vlažne dubok. Kada počnemo zavarivati, promatramo taljenje elektrode. Kod vlažnih elektroda čuju se male eksplozije i pucketanja. Katkad se primijeti na površini obloge vlaga koja se isparava u vidu bijele pare.



4. ZAKLJUČAK

Kao zaključak bitno je naglasiti da za traženu razinu kvalitete zavarivačkih radova koji se izvode ručnim elektrolučnim postupkom nužno je da uz posjedovanje dobro uvježbanih zavarivača u poduzeću koje se bavi zavarivačkim radovima postoji i dobro teorijsko poznavanje procesa koje se u obliku nadzora ili radnih uputa implementiraju u svakodnevnom izvođenju zavarivanja. Taj posao može obavljati posebno educirano osoblje, koje posjeduje određeno iskustvo u ovim poslovima. Takav način rada firme koja se bavi zavarivačkom djelatnošću može biti jamac da će se tražena kvaliteta trajno provoditi. Ovo vrijedi za sve postupke, a posebno za REL postupak zbog specifičnosti i raznolikosti obloženih elektroda.

LITERATURA:

1. Andrić, Beara, Gracin, Grubić, Kralj, Živčić: ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE, Društvo za tehniku zavarivanja Hrvatske, 1977.
2. Grubić-Živčić: REL ZAVARIVANJE, Društvo za tehniku zavarivanja Hrvatske, 1990.
3. A. Pavelić: ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE, Školska Knjiga 1987.
4. PRIRUČNIK ZA ZAVARIVANJE, Elektroda-Zagreb 1987.

RAD 4

IZBOR OPTIMALNOG POSTUPKA ZAVARIVANJA – UTJECAJ NA KVALITETU I TROŠKOVE





IZBOR OPTIMALNOG POSTUPKA ZAVARIVANJA

dipl. ing. Miljenko Gobin, EWE
Uljanik Brodogradilište d.d., 52100 PULA, Flaciusova 1
Tel: 052/374 118
Fax: 052/374 451,
E-mail: miljenko.gobin@uljanik.hr

Sažetak:

Često se u praksi susrećemo s pitanjem: koji postupak zavarivanja primijeniti kad je u pitanju određena zavarena konstrukcija? Kad se radi o serijskoj proizvodnji relativno je lako odgovoriti na to pitanje. Međutim kad se radi o specifičnom proizvodu nije jednostavno odgovoriti na to pitanje. Izbor optimalnog postupka zavarivanja ovisi prije svega o mogućnostima pogona i raspoloživim resursima, ljudskim i materijalnim, s kojima taj pogon raspolaže. Nadalje, tu je uvijek prisutan faktor vrijeme, odnosno rok, u kojem se ta konstrukcija treba izraditi, kao i faktor cijene izrade konstrukcije, odnosno zarade.

Ključne riječi:

postupak zavarivanja, izbor optimalnog postupka



1. UVOD

činjenica je, da je razvoj zavarivanja i srodnih tehnika, kao postupak spajanja materijala, u uskoj svezi s razvojem nauke o metalima. Tijekom proteklih 125 godina primjene zavarivanja za spajanje metala i ostalih materijala, razvili su se različiti postupci zavarivanja, uz istovremeni razvoj:

- opreme za zavarivanje
- dodatnog materijala za zavarivanje (DMZZ-e)
- zaštitnih plinova koji se koriste pri zavarivanju
- ostalog pomoćnog materijala za izvođenje zavarivanja itd.

Nadalje, kad se uzmu u obzir ukupni troškovi zavarivanja zavarenog spoja, daljnji razvoj u primjeni zavarivanja usmjeren je prema povećanju produktivnosti, odnosno efikasnosti pojedinog postupka zavarivanja:

- mehanizacija
- automatizacija
- robotizacija

1.1 Karakteristike pojedinog postupka zavarivanja

Za konstatirati je da se svaki postupak zavarivanja odlikuje svojom posebnošću, ali se u principu, za svaki pojedini postupak zavarivanja, generalno može ustvrditi slijedeće:

- povijesni razvoj
- osnovni princip rada
- izvor struje zavarivanja
- zahtjevi za izvođenje zavarivanja i primjenu postupka
- mogućnost mehanizacije, automatizacije, robotizacije
- primjena ovisno od vrste osnovnog materijala
- zaštita na radu/utjecaj na okoliš
- prednosti/nedostaci

1.2 Elektrolučni postupci zavarivanja

Počeci primjene zavarivanja metala bazirani su na elektrolučnom postupku zavarivanja, u početku bez elektrode, danas uz primjenu obložene elektrode (REL postupak zavarivanja). Nakon REL postupka, razvoj elektrolučnih postupaka zavarivanja, obuhvatio je i razvoj slijedećih postupaka:

- zavarivanje pod zaštitom praška (EPP postupak)
- zavarivanje u zaštiti inertnog plina netaljivom elektrodom (TIG postupak)
- zavarivanje u zaštiti inertnog plina taljivom elektrodom (MIG postupak)
- zavarivanje pod troskom (EPT postupak)
- zavarivanje u zaštiti aktivnog plina taljivom elektrodom (MAG postupak)

Dakle razvoj je usmjeren, tijekom povijesti i dan danas, prema postupcima zavarivanja koji se mogu mehanizirati, automatizirati ili robotizirati, uz istovremeno podizanje kvalitete zavarenih spojeva.

1.2.1 Postupci zavarivanja najčešće danas u primjeni u okruženju

Osim sveprisutnog REL postupka zavarivanja, koji se u pravilu može primijeniti bez ograničenja, u našem okruženju najčešće se primjenjuje MAG postupak zavarivanja u zaštiti plina CO₂ punom žicom ili praškom punjenom žicom. TIG i MIG postupci zavarivanja uglavnom se primjenjuju za zavarivanje cijevnih spojeva odnosno za zavarivanje celika otpornih na koroziju, aluminijskih

konstrukcija ili legura bakra. EPP postupak najviše je zastupljen u brodogradnji, za zavarivanje dugih spojeva i debljih materijala; mehanizirani postupak s mogućnošću potpune automatizacije. To je ujedno i najproduktivniji elektrolučni postupak zavarivanja koji se primjenjuje u okruženju.

Tablica 1. Osnovne karakteristike postupka zavarivanja

Karakteristike postupka zavarivanja	Elektrolučni postupak zavarivanja				
	REL	MAG	MIG	EPP	TIG
zavarivanje limova/profila/ukrepa	+	+	+	+	(+)
zavarivanje cijevi	+	+	+	(+)	+
zavarivanje tankih materijala	(+)	+	+	-	+
zavarivanje debelih materijala	+	+	+	+	-
zavarivanje nelegiranih čelika	+	+	+	+	+
zavarivanje čelika otpornih na koroziju	+	-	+	+	+
zavarivanje aluminijskih i njegovih legura	-	-	+	-	+
zavarivanje bakra i njegovih legura	-	-	+	-	+
zavarivanje svih vrsta zavarenih spojeva	+	+	+	-	-
zavarivanje u svim položajima zavarivanja	+	+	+	-	+
ručni postupak zavarivanja	+	-	-	-	+
poluautomatski postupak zavarivanja	-	+	+	+	+
mogućnost mehanizacije	+	+	+	+	+
mogućnost automatizacije	-	+	+	+	+
mogućnost robotizacije	-	+	+	+	(+)
zavarivanje na otvorenim površinama	+	(+)	(+)	+	(+)
zavarivanje preko radioničkog premaza	+	-	-	-	-
navarivanje	+	+	+	+	-
reparatura/popravci zavara	+	+	+	-	+
učin (kg/h)	+	++	++	+++	-
kvaliteta zavara	+	++	++	+++	+++
deformacije	+	+++	+++	+	++
vještina zavarivača/operatora	+++	++	++	+	+++
investicije u opremu za zavarivanje	+++	++	++	+	++

+ primjenjuje se
 (+) moguća primjena, ali se ne preporuča
 - ne primjenjuje se/ne odlikuje se tim svojstvom

+ prihvatljivo
 ++ bolje
 +++ najbolje



2. BAZNI FAKTORI KOJI UTJEČU NA IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA

2.1 Vrsta i oblik konstrukcije

Kad je u pitanju serijska proizvodnja, posebno ako je posao ugovoren tijekom dužeg vremenskog razdoblja, prvenstveno se razmatra mogućnost primjene postupka zavarivanja koji se može mehanizirati, automatizirati ili robotizirati. Prednost je u tom slučaju na strani postupka koji se odlikuje većim učinkom odnosno koji je produktivniji. EPP ili MAG postupak zavarivanja praškom punjenom žicom mogao bi biti optimalni izbor.

Kod pojedinačnih proizvoda, gdje je mogućnost mehanizacije/automatizacije/robotizacije ograničena ili neopravdana iz financijskih razloga (investicija u opremu za zavarivanje), bilo koji od navedenih pet postupaka zavarivanja mogao bi biti optimalni izbor. Prednost je uvijek na strani produktivnijeg postupka zavarivanja.

Za zavarivanje limova, profila, traka, uglovnica, primjenjuju se: REL, MIG/MAG, EPP i TIG.
Za zavarivanje cijevi primjenjuju se: REL, MIG/MAG i TIG.

2.2 Osnovni materijal za zavarivanje

Pod pojmom **osnovni materijal za zavarivanje** (OM) podrazumijeva se materijal kojeg treba zavariti odnosno materijal iz kojeg je proizvod izrađen. Ne odlikuju se svi materijali dobrom zavarljivošću. Dobrom zavarljivošću odlikuje se materijal koji se uspješno zavaruje bez posebnih mjera koje se moraju provoditi:

- prije zavarivanja (predgrijavanje, čišćenje površine spoja itd.)
- tijekom zavarivanja (kontrola unosa topline, specifikacija redoslijeda zavarivanja, kontrola međuslojne temperature itd.)
- nakon zavarivanja (toplinska obrada, kontrola brzine hlađenja itd.)

Kemijski sastav, mehanička svojstva, eventualna preporuka za predgrijavanje odnosno naknadnu toplinsku obradu osnovnog materijala, utvrđena su certifikatom (atestom) proizvođača. Na osnovu navedenih svojstava, propisuje se dodatni materijal za zavarivanje (DMZZ-e) koji se u pravilu mora odlikovati istim ili boljim svojstvima (mehanička svojstva metala zavara) od osnovnog materijala za zavarivanje. Izbor vrste DMZZ-e utječe i na odabir postupka zavarivanja.

Ako je OM čelik nekoliko postupaka zavarivanja (REL, EPP, MAG/MIG, TIG, EPT...) može se razmatrati kao mogući izbor, međutim kad je OM aluminij, bakar, nikal ili magnezij, odnosno njihove legure, najčešće se razmatraju dva postupka zavarivanja – TIG odnosno MIG.

2.3 Vrsta i oblik zavarenog spoja

Osnovne vrste zavarenih spojeva koje susrećemo u svakodnevnoj praksi su: sučeljeni spoj, T-spoj, preklopni spoj. Najčešće su to kutni T-spoj i sučeljeni V-spoj. Kod T-spoja izbor optimalnog postupka zavarivanja ovisi o visini kutnog zavara i položaja zavarivanja: EPP postupak mogao bi biti optimalni izbor ako se zavarivanje izvodi u položenom položaju i kad se radi o većoj količini (dužini) zavara. Kod zavarivanja sučeljenih V-spojeva izbor optimalnog postupka zavarivanja ovisi od oblika spoja, debljine OM, položaja zavarivanja i zahtjeva za kvalitetu zavarenog spoja. EPP postupak mogao bi biti optimalni izbor ako se zavarivanje izvodi u položenom položaju.



Ako se zavarivanje izvodi u nekom od prisilnih položaja zavarivanja optimalni izbor mogao bi biti MAG postupak uz primjenu praškom punjene žice.

2.4 Dizajn zavarenog spoja

Dizajn zavarenog spoja definira primarne zahtjeve koji se odnose na pojedini zavareni spoj:

- protaljivanje (penetracija)
- brzina zavarivanja
- količina deponiranog metala zavara
- brzina skrućivanja metala zavara

Dobrim protaljivanjem odlikuju se EPP, MAG-praškom punjena žica, REL postupak zavarivanja. Vrlo oprezan treba biti kad je u pitanju primjena MIG/MAG postupka punom žicom i TIG postupka zavarivanja kad se radi o protaljivanju, posebno kod debljih materijala.

Velikom brzinom zavarivanja, posebno u položenom položaju zavarivanja, odlikuju se EPP i MAG-praškom punjena žica postupci zavarivanja.

EPP postupak zavarivanja omogućuje najveće količine deponiranog metala zavara.

Kad je u pitanju zavarivanje u prisilnim položajima zavarivanja brzina skrućivanja metala zavara bitno je svojstvo: optimalni izbor mogao bi biti MAG-praškom punjena žica.

2.5 Priprema spoja – pripajanje

Za pripajanje rubova spoja najčešće se primjenjuju:

- REL postupak zavarivanja
- MIG/MAG – puna žica/praškom punjena žica
- TIG postupak zavarivanja

Kad su u pitanju čelici optimalni izbor mogao bi biti MIG/MAG – puna žica. Za pripajanje konstrukcija od aluminija, bakra, nikla ili magnezija, odnosno njihovih legure, pogotovo za pripajanje spojeva cijevi, najčešće se primjenjuju TIG odnosno MIG/MAG. Iako se za pripajanje upotrebljava (često?) REL postupak zavarivanja valja napomenuti negativne aspekte: obvezno čišćenje šljake (troske), česta je pojava zajeda (ugorina), nepravilan oblik pripojnog zavara, prekomjerna dimenzija pripojnog zavara i problem premošćivanja pripojnog zavara tijekom zavarivanja.

2.6 Položaj zavarivanja

Osim EPP (samo u položenom položaju zavarivanja) postupka zavarivanja, navedeni postupci, mogu se primijeniti u svim položajima zavarivanja.

2.7 Dimenzije zavara

Valja biti vrlo oprezan kod izbora optimalnog postupka zavarivanja kad se radi o tankom OM (posebno kod cijevnih spojeva) i kad je visina kutnog zavara $a=3-4$ mm. U takvim slučajevima valja izbjegavati primjenu postupka zavarivanja koji se odlikuje velikom količinom deponiranog metala zavara. Vrsta i promjer DMZZ-e u direktnoj je svezi s optimalnim izborom postupka zavarivanja.



2.8 Mjesto izvođenja zavarivanja

REL postupak zavarivanja praktično nema ograničenja u svezi mjesta izvođenja zavarivanja. MIG/MAG i TIG postupci zavarivanja, zbog zaštitnog plina, zahtijevaju oprez kod primjene na otvorenom prostoru, pogotovo što se tiče utjecaja vjetra.

2.9 Dodatni materijal za zavarivanje

Dodatni materijal karakteriziraju:

- elektroda (REL): promjer jezgre elektrode, materijal jezgre elektrode, debljina obloge, vrsta obloge, dužina
- žica (MIG/MAG): promjer, materijal, (zaštitni plin)
- žica + prašak (EPP): promjer i materijal žice, vrsta praška
- šipka (TIG): promjer, materijal, (zaštitni plin)

Za zavarivanje se primjenjuje atestirani DMZZ-e. Svaki proizvođač DMZZ-e obavezan je atestirati DMZZ-e kojeg proizvodi, a namijenjen je prodaji na tržištu. Atest DMZZ-e je dokument iz kojeg se mogu saznati sve bitne karakteristike tog materijala, kemijski sastav metala zavara, mehanička svojstva metala zavara, preporuka za primjenu obzirom na vrstu OM i preporučeni parametri zavarivanja. Optimalan izbor bio bi DMZZ-e koji u datim okolnostima omogućuje najveći učinak (kg/h rastopljenog metala zavara).

2.10 Oprema za zavarivanje – mehanizacija, automatizacija, robotizacija

REL postupak zavarivanja je ručni postupak iako se može mehanizirati i (gravitor). TIG je također ručni postupak, ali kad su u pitanju cijevni spojevi, često se koristi orbitalni TIG postupak, a moguća je i upotreba robota za zavarivanje.

Poluautomatski MIG/MAG postupak sve češće se primjenjuje uz upotrebu različitih oblika mehanizama; moguća automatizacija i robotizacija.

Mehanizirani/automatski EPP postupak zavarivanja također je moguće robotizirati.

Optimalni izbor bio bi automatski (robotizirani) postupak zavarivanja.

2.11 Osoblje za zavarivanje

Jedan od najutjecajnijih faktora je obrazovanje, odnosno znanje i vještina, zavarivača i operatera. Posebno je to bitno kod primjene ručnih postupaka zavarivanja. Upotreba mehanizama/automata za zavarivanje u znatnoj mjeri smanjuje utjecaj zavarivača/operatera na kvalitetu zavarenog spoja i produktivnost pogona.

2.12 Deformacije nakon zavarivanja

Deformacije nakon zavarivanja u svezi su sa unosom topline tijekom zavarivanja: jakost struje zavarivanja, napon električnog luka, brzina zavarivanja. Što je brzina zavarivanja manja, uz iste parametre zavarivanja, to je i unos topline veći. Optimalni izbor bio bi automatski (robotizirani) MIG/MAG postupak zavarivanja.

2.13 Uvjeti zavarivanja – zaštita na radu, zaštita okoliša

Opći uvjeti zavarivanja, zaštita na radu zavarivača/operatera i ostalih sudionika u proizvodnom procesu, kao i zaštita okoliša, također utječu na izbor optimalnog postupka zavarivanja.

2.14 Metode kontrole zavarenih spojeva – opseg kontrole

Zavareni spojevi izvedeni navedenim postupcima zavarivanja kontroliraju se standardnim i provjerenim metodama kontrole. Posebnu pozornost treba posvetiti kad je u pitanju MAG-puna žica postupak zavarivanja u zaštiti plina CO₂ zbog opasnosti od nepotpune penetracije (protaljšivanje) iz razloga nedovoljne količine topline u odnosu na debljinu osnovnog materijala.

Opseg ispitivanja zavarenih spojeva u uskoj je svezi s postupkom zavarivanja koji se primjenjuje kod zavarivanja određene zavarene konstrukcije. Što je postupak zavarivanja pouzdaniji u pogledu kvalitete zavarenih spojeva to je i opseg kontrole manji. U pravilu EPP i TIG postupak zavarivanja odlikuju se najboljom kvalitetom zavarenih spojeva, MIG/MAG neznatno slabijom kvalitetom u odnosu na EPP postupak, REL prihvatljivom kvalitetom.

2.15 Ekonomski aspekti

Ekonomski aspekti primjene određenog postupka zavarivanja obuhvaćaju:

- troškove nabavke opreme za izvođenje zavarivanja
- troškove nabavke DMZZ-e
- troškove nabavke pomoćnog materijala za zavarivanje
- troškove obrazovanja zavarivača/operatora i ostalog osoblja za zavarivanje
- troškove atestacije postupka zavarivanja
- troškove održavanja opreme za izvođenje zavarivanja

Najveće investicije u opremu za izvođenje zavarivanja, u početnoj fazi, su za EPP postupak; najmanje se investira u REL postupak.

Tablica 2. Investicije u postupak zavarivanja

postupak/oprema	REL	MAG	MIG	EPP	TIG
izvor struje zavarivanja	+	+	+	+	+
energetski provodnik	+	+	+	+	+
uređaj za dodavanje žice		+	+		
produžni kabeli		+	+	+	
električni provodnik	+				
polikabel s pištoljem		+	+		
gorionik					+
držač elektrode	+				
mehanizam/automat		(+)	(+)	+	(+)
zaštitni plin		+	+		+
zaštitni plin (korijen)					+
regulator pritiska plina		+	+		+
DMZZ-e	+	+	+	+	+
alat zavarivač/operator	+	+	+	+	+
zaštitna oprema	+	+	+	+	+

Osim navedenog, potrebno je također, uzeti u obzir i troškove obrazovanja osoblja za zavarivanje (provjera/atestacija) kao i troškove atestacije postupka zavarivanja.

3. TEHNOLOŠKI FAKTORI KOJI UTJEČU NA IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA

3.1 Operativni faktor

Operativni faktor (OF), izražen u %, je omjer vremena gorenja električnog luka (VGEL) i ukupnog radnog vremena (URV), pojedinog zavarivača/operatera:

$$OF = \frac{VGEL}{URV} \quad (\%)$$

Tablica 3. Operativni faktor – metoda zavarivanja

metoda zavarivanja	OF (%)
ručno	5 – 30
poluautomatski	10 – 60
mehanizirano	40 – 90
robotizirano	50 – 100

Već na prvi pogled, iz tabele je razvidno, da je najmanji OF kod REL postupka zavarivanja. To znači, da je i količina zavara, REL zavarivača u odnosu na zavarivače koji izvode zavarivanje MIG/MAG ili EPP postupkom, manja kad se govori o dnevnom učinku.

3.2 Učinkovitost

Učinkovitost (U), mjerena u kg/h, predstavlja količinu deponiranog metala zavara u jedinici vremena, odnosno to je tehnološka karakteristika određenog DMZZ-e. O učinkovitosti direktno ovisi dnevna produktivnost zavarivača/operatera odnosno pogona. Učinkovitost je u svezi s vrstom i dimenzijama DMZZ-e i jakosti struje zavarivanja, a time indirektno i s položajem zavarivanja.

Tablica 4. Učinkovitost – postupci zavarivanja

metoda zavarivanja	U (kg/h)
REL	0,6 – 4,1
MIG/MAG puna žica	0,8 – 5,7
MAG praškom punjena žica	1,5 – 6,5
EPP	5,0 – 25,0

Tablica 5. Učinkovitost – REL postupak zavarivanja

REL postupak	AWS oznaka	I_{zav} (A)	U (kg/h)
rutilna elektroda	6013	75 – 350	0,6 – 3,5
bazična elektroda	7018	130 – 400	0,8 – 4,4
bazična elektroda visokoučinska	7028	150 – 350	1,5 – 6,5
rutilna elektroda visokoučinska	6027	150 – 350	1,5 – 6,5

3.3 Iskoristivost DMZZ-e

Iskoristivost DMZZ-e (E), mjerena u %, predstavlja količinu deponiranog metala zavara od 1 kg DMZZ-e, odnosno koliko se od 1 kg bruto težine DMZZ-e natali netto metala zavara:

$$E = \frac{TMZ}{BT} (\%)$$

TMZ = težina metala zavara 1 kg DMZZ-e

BT = bruto težina 1 kg DMZZ-e

Tablica 6. Iskoristivost DMZZ-e – postupak zavarivanja

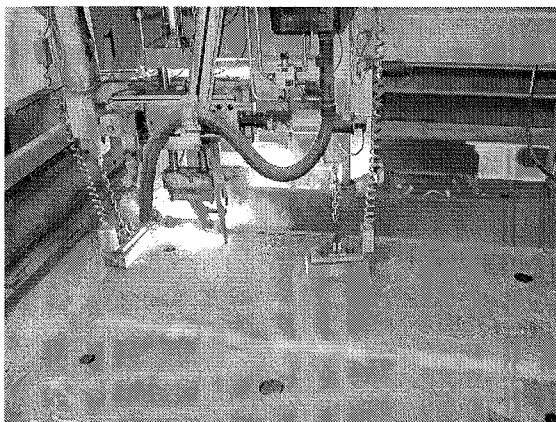
postupak zavarivanja	E (%)
REL	55 – 70
MIG/MAG puna žica	90 – 97
MAG praškom punjena žica	80 – 90
EPP žica	90 – 99

3.4 Brzina zavarivanja

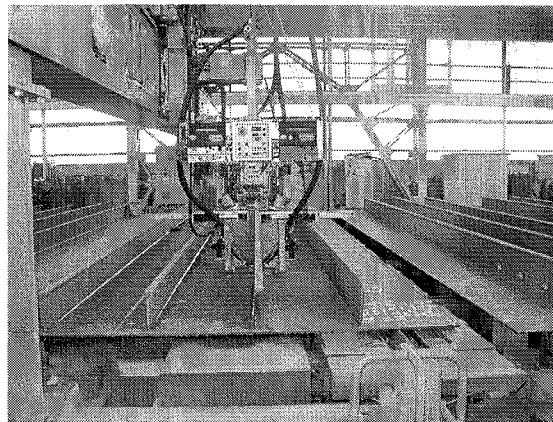
Brzina zavarivanja je u direktnoj svezi s učinkom – što je postupak zavarivanja učinkovitiji to je i brzina zavarivanja veća. Najmanje brzine zavarivanja ostvaruju se TIG postupkom zavarivanja, najveće EPP postupkom. Poluautomatski postupci zavarivanja MIG/MAG omogućuju brzine zavarivanja između REL i EPP postupka.

Mehanizacija, automatizacija ili robotizacija postupka zavarivanja, znatno povećava vrijednosti brzine zavarivanja bez obzira o kojem se postupku zavarivanja radi. Što je brzina zavarivanja manja, uz iste parametre zavarivanja, to je i unos topline veći. Optimalni izbor bio bi automatski (robotizirani) MIG/MAG postupak zavarivanja.

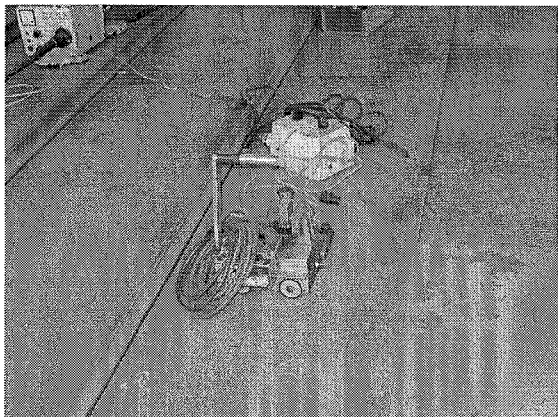
3.5 Primjeri iz prakse (učinkovitost zavarivača)



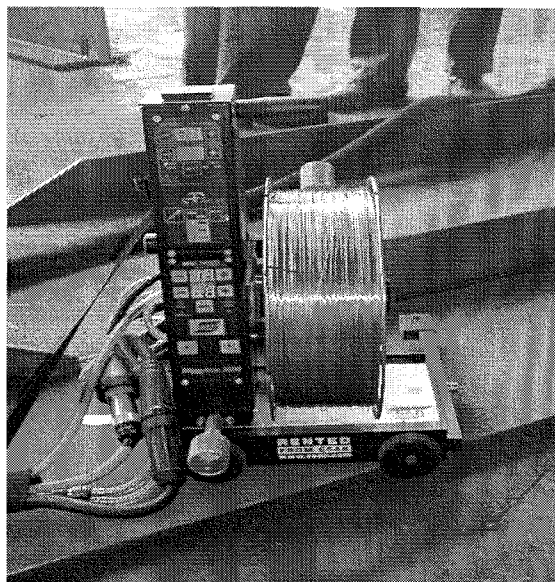
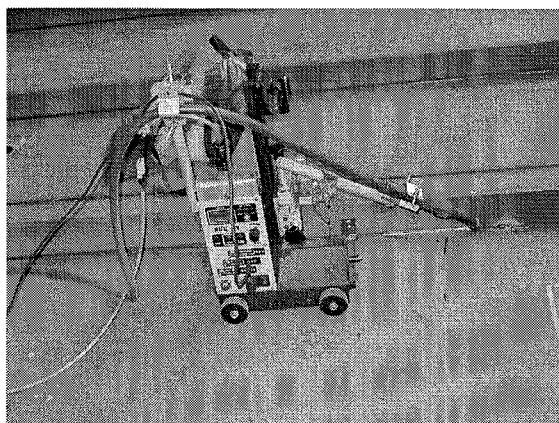
Slika 1. Automatski postupak pripajanja
MAG postupak – praškom punjena žica



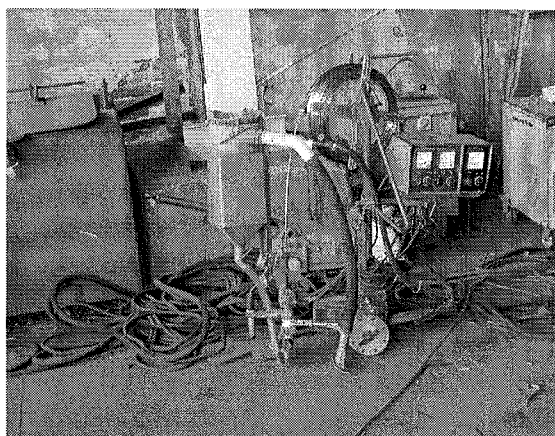
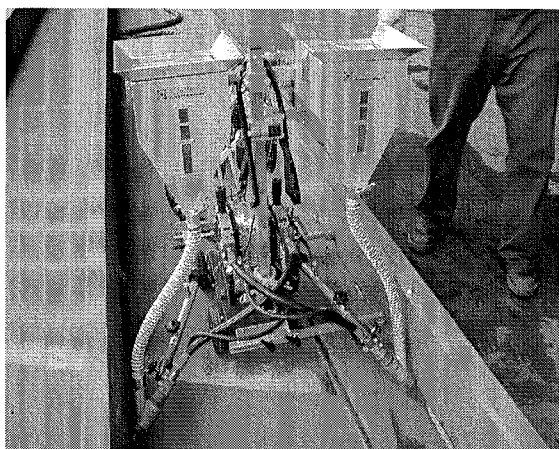
Slika 2. Automatski postupak zavarivanja
EPP postupak



Slika 3. Mehanizirani postupak zavarivanja
MAG postupak – praškom punjena žica



Slika 4. Mehanizirani postupak zavarivanja
MAG postupak – praškom punjena žica



Slika 5. Mehanizirani postupak zavarivanja
EPP postupak

4. IZBOR OPTIMALNOG POSTUPKA ZAVARIVANJA

Svaki od spomenutih postupaka zavarivanja odlikuje se karakterističnim osobinama:

REL postupak – mala vrijednost investicije u opremu za zavarivanje, primjena u svim položajima zavarivanja, fleksibilan, velik izbor dodatnog materijala za zavarivanje, zadovoljavajuća protaljivost, lijep izgled zavara, troska se mora ukloniti.

MIG/MAG postupak – osim izvora struje zavarivanja zahtijeva dodavač žice i zaštitni plin, (puna žica) ograničenja u pogledu fleksibilnosti, veća učinkovitost u odnosu na REL, nema troske, mogućnost mehanizacije, automatizacije i robotizacije.

MIG/MAG postupak – osim izvora struje zavarivanja zahtijeva dodavač žice i zaštitni plin (praškom punjena žica) veća učinkovitost u odnosu na REL i MIG/MAG postupak, troska se mora ukloniti, mogućnost mehanizacije, automatizacije i robotizacije.

EPP postupak – znatna vrijednost investicije u opremu za zavarivanje, samo u položenom položaju zavarivanja, visoka učinkovitost, lijep izgled zavara, odlična kvaliteta zavara, zahtijeva prašak, troska i ostaci praška moraju se ukloniti.

TIG postupak – osim izvora struje zavarivanja zahtijeva i zaštitni plin, ograničenja u pogledu fleksibilnosti, mala brzina zavarivanja, lijep izgled zavara, odlična kvaliteta zavara, nema troske, mogućnost mehanizacije, automatizacije i robotizacije.

4.1 Izbor postupka

Izbor postupka zavarivanja ovisi o vrsti konstrukcije/proizvodu, vrsti osnovnog materijala, mjestu izvođenja zavarivanja, opremljenosti pogona, znanju i vještinama zavarivača/operatora, ekonomskim aspektima poslovanja i iskustvu/znanju proizvođača. Unatoč tome, izbor optimalnog postupka zavarivanja, slijedi nakon provedbe uobičajenih aktivnosti:

1. analiziranje zahtjeva kvalitete zavarenog spoja kojeg treba zavariti
2. utvrditi da li se zahtjevi spoja mogu ostvariti primjenom dostupnih postupaka zavarivanja; istovremeno, analizirati mogućnost primjene, drugih do tada neprovjerenih postupaka
3. utvrditi da li odabrani postupak zavarivanja udovoljava zahtjevima proizvodnje (produktivnost, rokovi)
4. potvrditi u praksi odabrani postupak zavarivanja

Različiti su zahtjevi kvalitete zavarenog spoje:

Sučeljeni V spoj – deblji materijal, položeni položaj zavarivanja primarni zahtjev koji se razmatra je velika količina deponiranog metala zavara, što upućuje na postupak zavarivanja koji se odlikuje učinkovitošću (kg/h deponiranog metala zavara)

Sučeljeni X spoj – deblji materijal, položeni položaj zavarivanja primarni zahtjev koji se razmatra je protaljivost spoja

Kutni T spoj – jedan prolaz, položeni položaj zavarivanja
primarni zahtjev koji se razmatra je velika brzina zavarivanja i mala dimenzija zavara

Kutni T spoj – jedan prolaz, vertikalni položaj zavarivanja
primarni zahtjev koji se razmatra je kontrola taline metala zavara, odnosno istovremeno brzina zavarivanja i učinkovitost (kg/h deponiranog metala zavara)

Primjena dostupnih (provjerenih) postupaka zavarivanja najčešće je rješenje u praksi. To ujedno nije i najbolje rješenje. Izbor optimalnog postupka zavarivanja rezultat je analize:

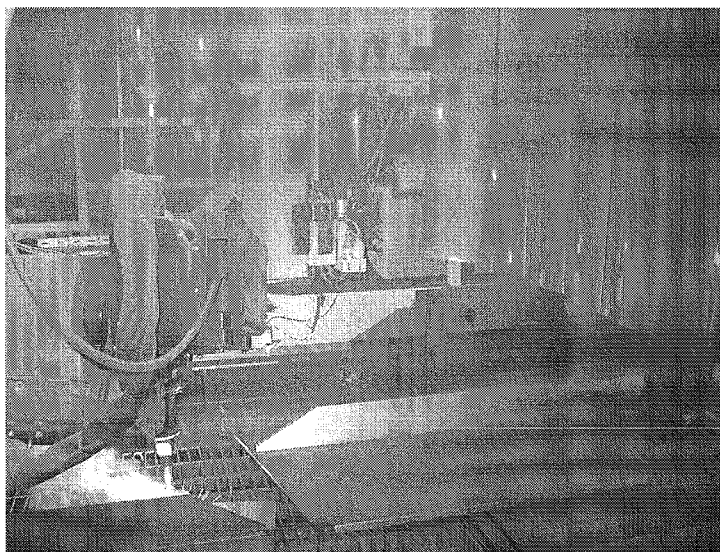
1. baznih faktora
2. tehnoloških faktora
3. ukupnih troškova zavarivanja

5. ZAKLJUČAK

Primijeniti se može samo onaj postupak zavarivanja koji je provjeren (atestiran) i za kojeg je proizvođač ishoduovao uvjerenje (atest) od nezavisne ocjenjivačke ustanove, kojim se potvrđuje, da su rezultati ispitivanja tijekom provjere, zadovoljili unaprijed postavljene zahtjeve (vrijednosti).

Kad su u pitanju debeli spojevi, spojevi limova ili profila u položenom položaju zavarivanja, EPP postupak je optimalno rješenje. Za zavarivanje kratkih spojeva odnosno spojeva u prisilnim položajima zavarivanja i gdje se zahtijeva od zavarivača da često mijenja mjesto zavarivanja, REL ili MIG/MAG postupak je optimalno rješenje.

Najčešće je optimalno rješenje kompromis između brzine zavarivanja, operativnog faktora i položaja zavarivanja. Pri tome produktivnost i ukupni troškovi zavarivanja zavarenog spoja imaju znatan utjecaj na izbor optimalnog postupka zavarivanja. Optimalni postupak zavarivanja, u određenom vremenu i određenim okolnostima, predmet je daljnjih analiza i istraživanja, s ciljem da se poveća produktivnost pogona i smanje troškovi proizvodnje. U tu svrhu neophodno je konstantno provoditi istraživanje tržišta, uspoređivati svoje proizvodne rezultate s rezultatima konkurencije, investirati u nova znanja i tehnološka rješenja.



Slika 6. Robotska stanica za zavarivanje
MAG postupak zavarivanja
Praškom punjena žica

RAD 5

GREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA – UZROCI NASTAJANJA I POSLJEDICE





GREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA – UZROCI NASTAJANJA I POSLJEDICE

Milan Bičić, dipl. ing., EWE
Tehnomont – Brodogradilište Pula d.o.o
Fižela 7
52100 Pula
Tel: 052/386 011
Fax: 052/386 328
E-mail: mbicic@tehnomont.hr

Mladen Gotesman, dipl.ing
Uljanik Strojogradnja d.d
Flaciusova 1
52100 Pula
Tel: 052/373 563
Fax: 052/373 821

Gordan Polonijo, dipl.ing
Uljanik Brodogradilište d.d
Flaciusova 1
52100 Pula
Tel: 052/373 728
Fax: 052/373 811
E mail: kontrola.gt@uljanik.hr

Sažetak: *Pojavljivanje grešaka u proizvodnji zavarenih konstrukcija uzrokuje zastoje i povećava troškove proizvodnje. Osim toga greške u zavarenim spojevima uzrokuju lomove i havarije na konstrukcijama. U radu je ukratko prikazano nastajanje grešaka, njihovi uzroci, otkrivanje i uklanjanje.*

Ključne riječi: greška, kriterij prihvatljivosti, popravak



1. UVOD

U proizvodnji pojavljivanje pogrešaka u zavarenom spoju, a naročito njihovo ponavljanje uzrokuje velike probleme. Uzroci im, međutim, mogu biti u fazama prije proizvodnje (projektiranje, izbor osnovnog materijala, izbor prikladnog postupka zavarivanja, vrsta i oblik spoja, itd.) kao i u načinu uporabe zavarene konstrukcije. I ti čimbenici, često nepravedno, znatno utječu na kvalitetu rada zavarivača.

2. DEFINICIJA GREŠKE

Kada govorimo o greškama u zavarenim spojevima onda se moramo zapitati što je to uopće greška i da li postoji idealan zavareni spoj.

Postavlja se pitanje da li je moguće izvesti idealan zavareni spoj odnosno da li je u praksi moguće izvesti zavareni spoj bez greške. Odgovor je NE. Svaki zavareni spoj, pa i onaj najkvalitetniji ima u sebi određene pogreške. Zavareni spoj je daleko od savršenstva. Zašto je dakle zavarivanje toliko u uporabi i zašto predstavlja gotovo nezamjenjiv postupak u spajanju dijelova konstrukcije. Jedan od odgovora bi bio: to je najekonomičniji, najbrži i danas najsigurniji postupak neraskidivog spajanja.

Stoga se samo po sebi nameće i pitanje definicije greške. U savršenome stanju nema pogrešaka. U našem stvarnom svijetu mnogo toga teži savršenstvu a malo toga mu se približava.

Može se reći da je zavarena konstrukcija toliko sigurna koliko je na njoj siguran najlošije izvedeni zavareni spoj.

Budući da ne postoji zavareni spoj bez pogreške nameće se zaključak da je potrebno odrediti kriterije vrednovanja kvalitete zavarenih spojeva. Uvodimo dakle još jedan pojam neposredno vezan uz pogrešku, a to je kriterij prihvatljivosti. Sama definicija greške u zavarenom spoju bi stoga mogla glasiti: greške u zavarenom spoju su nepravilnosti ili diskontinuiteti koji odstupaju od postavljenih kriterija prihvatljivosti.

Na primjer, *American Welding Society* je u publikaciji *Standard Welding Terms and Definitions (AWS A3.0:2001)* diskontinuitete definiralo na slijedeći način:

Diskontinuitet je prekid tipične strukture materijala kao što je nedostatak homogenosti mehaničkih, metalurških ili fizičkih svojstava.

Međutim diskontinuitet nije nužno i greška. Greška je definirana kao:

Diskontinuitet ili diskontinuiteti koji ne zadovoljavaju minimalne postavljene kriterije prihvatljivosti.

Kriteriji prihvatljivosti su obično uobličeni u različite standarde koji striktno propisuju nivoe grešaka i njihovu prihvatljivost.

Ovdje treba istaknuti da postoje različiti standardi prihvatljivosti i da u njima postoje značajne razlike. Stoga treba biti oprezan pri samom definiranju standarda koji je mjerodavan za određenu zavarenu konstrukciju. O ovome ovisi izrada tehnologije a i troškovi izrade konstrukcije.

3. PODJELA GREŠAKA

Greške u zavarenom spoju mogu se dijeliti prema više kriterija.

Obzirom na to da li su vidljive ili ne dijele se na:

- vidljive tj. pogreške koje se mogu otkriti, raspoznati, definirati i ocijeniti bilo vizualnim pregledom ili nekom od metoda nerazorne defektoskopije.
- Nevidljive – latentne, koje se ovim metodama ne mogu otkriti, ali znatno utječu na svojstva zavarenog spoja, a posljedično i na sposobnost konstrukcije u ispunjenju namjene. Njihovo otkrivanje je vezano uz uporabu složenih razornih, metalografskih i drugih ispitivanja, koja zbog dugotrajnosti i visoke cijene ne mogu biti redovito korištena.

Osim toga greške se mogu dijeliti na njihov položaj u zavarenom spoju:

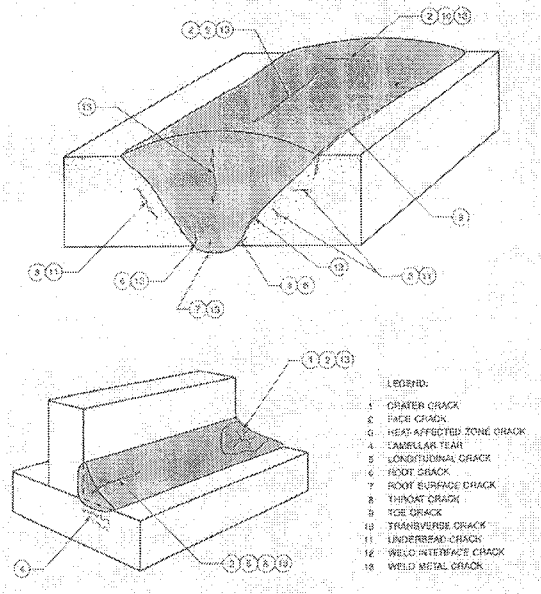
- greške lica
- greške korijena
- greške u metalu zavara
- greške u osnovnom metalu

Prema međunarodnoj klasifikaciji, pogreške u zavarenom spoju svrstane su u šest osnovnih skupina (EN 26 520):

- 100 pukotine
- 200 šupljine (poroznost)
- 300 uključci čvrstih tijela
- 400 nedovoljno vezivanje i penetracija
- 500 pogreške oblika
- 600 ostale pogreške

Još jedna podjela je prema:

- greške nastale tijekom procesa zavarivanja
- metalurške greške u metalu zavara i osnovnom metalu
- greške nastale zbog dizajna konstrukcije



Slika 1. Prikaz položaja grešaka u različitim zonama zavara

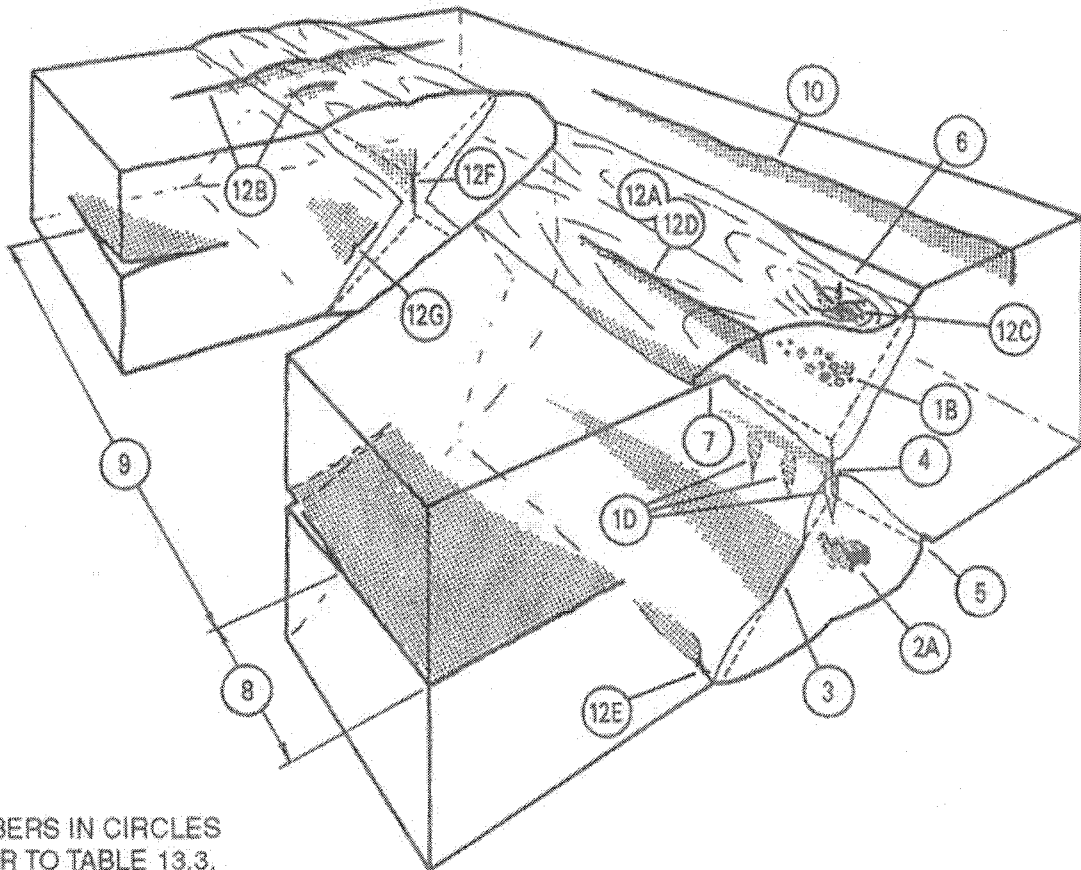
4. STANDARDI PRIHVATLJIVOSTI GREŠAKA

Kako je već prije rečeno, kriteriji prihvatljivosti su uobličeni u standarde prihvatljivosti grešaka. Podrazumijeva se da postoje različiti standardi sa različitim zahtjevima ovisno o konstrukciji.

O standardima prihvatljivosti grešaka koji su usko vezani uz kvalitetu izrade konstrukcije je potrebno voditi računa pri ugovaranju zavarene konstrukcije. Potpisivanjem ugovora u kojem se definiraju i zahtjevi na konstrukciju, odnosno standardi prihvatljivosti, proizvođač se obavezuje izvesti konstrukciju prema standardima u ugovoru.

Neki od standarda prihvatljivosti su npr. EN 25817- europski standard koji definira nivoe prihvatljivosti grešaka za čelične konstrukcije, EN 30042 – europski standard koji definira nivoe prihvatljivosti grešaka za aluminij i aluminijske legure, zatim AWS D1.1 – američki standard za izradu i kriterije prihvatljivosti čeličnih konstrukcija, itd.

Navedeni standardi imaju različite kriterije za istu skupinu materijala i konstrukcija i samim time određuju uveliko i cijenu koštanja zavarene konstrukcije.



Slika 2. Zavareni X-spoj u presjeku sa različitim tipovima grešaka
 1B-gnijezdo poroziteta; 1D-uključci u nizu; 2A-uključci troske; 3-naljepljivanje; 4-nepotpuna penetracija; 5-ugorina; 6-nepotpuna popunjenost zavara; 7-preklop-naljepljivanje; 8-laminacija; 9- otvorena laminacija zbog poprečnih naprezanja; 10-laminacija; 12A,12D-Uzdužna pukotina; 12B-poprečna pukotina; 12C-krater; 12F-korjensak greška; 12E-pukotina; 12G-pukotina u ZUT-u



5. VRSTE POGREŠAKA I UZROCI NASTAJANJA

5.1 PUKOTINE

Pukotine se još danas smatraju najopasnijim pogreškama u zavarenom spoju i u pravilu nisu dopuštene. Zbog njihove geometrije (dvije dimenzije izrazito velike u odnosu na treću, oštri rubovi, nepovoljni položaji), nosivi presjek zavarenog spoja, osobito ako su položene poprijeko na smjer naprezanja, bitno se smanjuje, a time i čvrstoća spoja. Samo su uvjetno dopuštene u pojedinim slučajevima.

5.1.1 TOPLE PUKOTINE

Tople pukotine kod zavarivanja nastaju na visokim temperaturama tijekom hlađenja taline do čvrstog stanja. Prostiru se po granicama zrna materijala, najčešće po dužini u sredini zavara, ali moguće su i u zoni utjecaja topline.

Glavni uzrok nastajanja toplih pukotina je gubitak sposobnosti metala zavara da izdrži naprezanja nastala skupljanjem u posljednjoj fazi skrućivanja kod visokih temperatura. Pojava toplih pukotina je posebno povezana sa nečistoćama u materijalu.

5.1.2 HLADNE PUKOTINE

Hladne pukotine nastaju nakon izvršenog zavarivanja na temperaturi nižoj od 300°C. One se mogu nekad pojaviti i više sati poslije zavarivanja. Pojavljuju se uglavnom kod zavarivanja čelika povišene i visoke čvrstoće. Mogu biti položene uzdužno i poprečno na zavar ili na prijelazu u osnovni materijal. Također, mogu biti vidljive (na površini zavarenog spoja), ali i nevidljive u zavarenom spoju. Po veličini su – od mikropukotina za oko kao i za mnoge o nerazornih ispitivanja, nevidljive – do makropukotina koje su vidljive ili se nekom od metoda lako otkrivaju. Glavni uzročnici nastajanja hladnih pukotina su:

- prisustvo vodika u zavaru
- struktura zavarenog spoja
- djelovanje naprezanja

Pojednostavljeno se mehanizam nastajanja hladnih pukotina može prikazati: vodik koji je difundirao u talinu zavara kod visokih temperatura nalazi se u atomarnom stanju. Pri hlađenju vodik prelazi u molekularno stanje i smješta se u materijalu na mjestima sitnih pogrešaka, pri čemu nastaju vrlo visoki tlakovi koji dovode do pukotina. Vodik dolazi u zavar razlaganjem vlage (u oblozi elektrode ili praška ili u zaštitnom plinu) na visokim temperaturama, te iz drugih nečistoća kao hrđa, okujina, masnoća, vlaga, koje se nalaze na površini mjesta zavarivanja.

5.1.3 IZBJEGAVANJE NASTAJANJA HLADNIH PUKOTINA

Navedeni utjecaji, koji uzrokuju pukotine kod zavarivanja metala taljenjem, ne mogu se potpuno izbjeći, ali se mogu smanjiti i djelomično otkloniti.

U prvome redu treba izvoditi konstrukcijska rješenja zavarene konstrukcije sa što manjom ukrućenosti zavarenog sklopa, uz izbor oblika spoja sa što manje unesenog dodatnog materijala. Pri tome je važan i izbor postupka zavarivanja, parametara i unosa topline. Premali unos topline povećava sklonost hladnim pukotinama, a preveliki pogrubljenje zrna, smanjenu žilavost pa i sklonost toplim pukotinama. Isto tako važno je smanjiti mogućnost ulaska vodika u

zavar, što znači održavanje čistoće mjesta zavarivanja od vlage, masnoća i drugih nečistoća uz pravilno skladištenje i sušenje dodatnih materijala za zavarivanje.

5.2 ŠUPLJINE – POROZNOST

Porozitet u metalu zavara su mjesta ispunjena stlačenim plinom. Različitih su veličina, od vrlo sitnih, okom nevidljivih, pa do veličina nekoliko milimetara. Poroznosti nastaju zbog toga jer metal zavara u rastaljenom stanju može upiti znatne količine plinova. Vodik i dušik se upija izravno, a kisik u spoju sa ugljikom. Ohlađivanjem taline plinovi naglo izranjaju i metala u obliku mjehurića. Ako je brzina izlučivanja plinova manja od brzine skrućivanja metala, plinovi ostaju zarobljeni u zavaru.

5.2.1 UTJECAJ POROZNOSTI NA ČVRSTOĆU ZAVARENOG SPOJA

Ovisno o broju, veličini, obliku i mjestu poroznosti te vrsti i zahtjevima na kvalitetu konstrukcije, ove pogreške različito utječu na čvrstoću zavarenog spoja. Istraživanja su pokazala da pojedinačne pore kuglastog oblika u zavarenom spoju nemaju većeg utjecaja na smanjenje čvrstoće. Ako su pore na površini otvorene, odnosno ako izgube kuglasti oblik, štetno djeluju posebno na trajnu čvrstoću zavara.

5.2.2 PRIMJERI UZROKA I IZBJEGAVANJE NASTAJANJA POROZNOSTI

Uzročnici poroznosti u zavaru su:

- nečistoće i vlaga na mjestu zavarivanja i u dodatnim materijalima,
- slaba zaštita procesa zavarivanja
- neispravni parametri i tehnika rada u zavarivanju

Nečistoće su najčešće hrđa i okujina, masnoće, itd. Vlaga je prisutna najčešće u oblozi elektrode, prašku i u zaštitnom plinu, ali i na površini mjesta zavarivanja, naročito kod zavarivanja po hladnom vremenu. Uzrok može biti i predug električni luk koji slabi zaštitu taline i dozvoljava ulaz plinova i kontakt sa talinom.

Pravila za izbjegavanje uzroka pojave poroznosti:

- bespriječna čistoća mjesta zavarivanja, naročito kod visokih zahtjeva kvalitete zavarivanja
- odmaščivanje spoja neposredno prije zavarivanja nehrđajućih čelika
- uklanjanje oksida neposredno prije zavarivanja aluminijski
- osušiti spoj prije zavarivanja
- pravilno uspostavljanje i prekidanje električnog luka
- pravilno održavanje duljine električnog luka, itd.
- sušenje elektroda i praška prije zavarivanja, itd.

5.3 ČVRSTI UKLJUČCI

Čvrsti uključci, kao strano tijelo u metalu zavara, mogu biti nemetali kao troska i prašak, a mogu biti i metali kao. Npr. uključak volframa ili spojevi npr. oksidna kožica u zavaru aluminijski. Uključci troske u zavaru najčešće nastaju uslijed nedovoljnog čišćenja među slojevima zavara. Troska se ponekad teško čisti, naročito u dubokim žljebovima i oštrim uglovima. Neiskusni ili

površan zavarivač pokušava takva mjesta pretaliti uporabom pojačanih jakosti struje, međutim to obično ne uspijeva. Pravilno je ta mjesta izbrusiti prije zavarivanja slijedećeg sloja. Osim ovakvih grubih uključaka, koji se mogu otkriti kontrolom prozračivanjem ili prozvučivanjem, u metalu zavara može biti još niz drugih sitnih uključaka koji su posljedica kemijskih reakcija u procesu zavarivanja, kao to su: silikatni, sulfidni, itd.

5.3.1 UTJECAJ ČVRSTIH UKLJUČAKA NA ČVRSTOĆU ZAVARENOG SPOJA

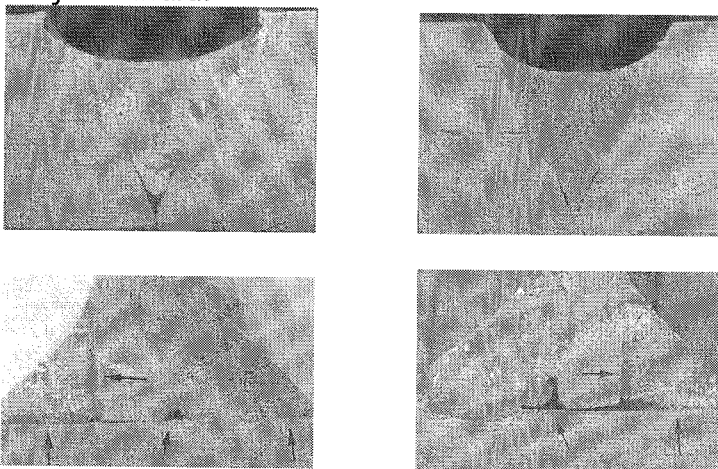
Općenito, nemetalni ukljucci kao i ukljucci stranog metala, smanjuju čvrstoću zavarenog spoja zbog nehomogenosti i smanjenja presjeka materijala zavara. Osim toga, na tim mjestima su povećane koncentracije naprezanja u zavaru. Utjecaj na čvrstoću zavarenog spoja ovisi o količini, obliku, i veličini uključaka. Ukljucci ostalih rubova djeluju kao inicijatori pukotina. Dugački ukljucci većih volumena smanjuju presjek zavara. Sitni ukljucci kuglastih oblika i manjih količina, nisu opasni i djeluju poput pora kuglastog oblika. Metalni ukljucci su uglavnom maleni. Najčešći je ukljuccak volframa kod TIG zavarivanja aluminijskih legura.

5.3.2 IZBJEGAVANJE NASTAJANJA ČVRSTIH UKLJUČAKA U ZAVARU

- pravilna priprema spoja za zavarivanje, ispravan kut otvora žljeba
- čišćenje troske među slojevima
- kod većeg ispupčenja prethodnog sloja je potrebno brušenjem odstraniti oštre zareze prije zavarivanja prethodnog sloja
- zavarivanje izvoditi ispravnim parametrima i ispravnom tehnikom rada
- kod zavarivanja aluminijskih legura treba oksidnu kožicu otkloniti četkanjem

5.4 NALJEPLJIVANJE I NEDOVOLJAN PROVAR

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. Kod zavarivanja taljenjem nastaje «nalijeganje» taline dodatnog materijala na «hladnu» nepretaljenu površinu spoja ili prethodnog sloja zavara. To se događa i kod navarivanja. Pogreška je tim neugodnija što se teško pronalazi postojećim metodama kontrole. Nedovoljni provar je nedovoljno protaljivanje po cijelom presjeku zavarenog spoja, odnosno neprovarivanje korijena zavara.



Slika 3. Primjeri naljepljivanja u sučeljenom i kutnom spoju

5.4.1 UZROCI NALJEPLJIVANJA

Najčešći uzroci nastajanja pogreška naljepljivanja:

- nepravilna priprema spoja,
- neispravni parametri zavarivanja,
- nepravilna tehnika rada

Tako npr. preuzak žlijeb ne osigurava dovoljno protaljivanje u dnu žlijeba, posebno kod preslabe struje zavarivanja ili prevelikog promjera elektrode. Talina «naliježe» na «hladni» nepretaljeni metal u dnu žlijeba. Prevelika brzina zavarivanja djeluje isto kao i premala jakost struje zavarivanja radi raspodjele energije na veću površinu.

Premala brzina zavarivanja kod ispravne, pa čak i velike jakosti struje zavarivanja, može uzrokovati pogreške naljepljivanja, ako se stvara prevelika količina taline ispod ili ispred električnog luka, koja ne dopušta njegovo prodiranje i pretaljivanje stranica spoja. To se često događa kod MIG/MAG I EPP zavarivanja.

5.4.2 UZROCI NEDOVOLJNOG PROVARA

Nedovoljni provar, ili kako se najčešće naziva neprovaren korijen zavara, može biti unutarnja pogreška u zavaru, tamo gdje se zavarivanje izvodi obostrano-ili vanjska pogreška kod zavarivanja samo sa jedne strane. Vanjska se pogreška može vizualno otkriti, međutim ne i u onim slučajevima gdje je onemogućen pristup korijenu zavara. Uzroci nedovoljnog provara su:

- nepravilna priprema spoja
- neispravni parametri zavarivanja
- nepravilna tehnika rada

5.4.3 IZBJEGAVANJE POGREŠAKA NALJEPLJIVANJA I NEDOVOLJNOG PROVARA

- posebnu pozornost valja obratiti MIG / MAG zavarivanju, jer su tu najčešće pogreške naljepljivanja
- zavarivanje MIG / MAG postupkom kratkim lukom (male jakosti struje) debljih materijala treba isključiti
- kod zavarivanja većim jakostima struje u vodoravnom položaju, posebnu pozornost valja obratiti brzini zavarivanja, tako da talina ne «bježi» ispred električnog luka, naročito u uskom žlijebu
- kod zavarivanja debelih materijala i debelih kutnih zavara bolje je, i od naljepljivanja sigurnije, višeslojno zavarivanje, vezanim slojevima. To se odnosi na sve postupke zavarivanja.

5.5 POGREŠKE OBLIKA ZAVARA

Pogreškom oblika zavara smatra se svako odstupanje od zadanog oblika zavara. Danas je svima dobro poznato da pogreške oblika zavara nisu samo estetske prirode već je njihov utjecaj u smanjenju nosivosti zavarenog spoja vrlo značajan, naročito kod dinamički opterećenih konstrukcija.



- Ugorine uz zavar - nastaju nepravilnom tehnikom rada i nepravilnim parametrima zavarivanja.
- Preveliko nadvišenje zavara
- Prevelika ispupčenost kutnog zavara
- Preveliki provar
- Prokapljina
- Oštar prijelaz zavara
- Nesimetričan kutni zavar
- Preklop zavara
- Neravnomjerna mjerna površina zavara
- Nepravilno izveden nastavak

6. NEKI OD OSTALIH UZROKA NASTAJANJA POGREŠAKA

Uzročnik nastanka pogreške može biti:

6.1 Priprema za zavarivanje

- Preveliki ili premali razmak u grlu žlijeba
- Premali kut žlijeba
- Masni, vlažni, prljavi ili obojeni rubovi za zavarivanje
- Smaknuti rubovi
- Preveliko odstupanje od okomitosti kod kutnih zavara

6.2 Zavarivač

- Ne zna raditi
- Ne pridržava se zadane tehnologije

6.3 Dodatni i potrošni materijal

- Dodatni materijal je vlažan
- Premalo ili nimalo praška u praškom punjenoj žici
- Previše vlage u zaštitnom plinu
- Oštećena keramička pločica

6.4 Radno mjesto

- Na radnom mjestu je preveliki propuh
- Na radnom mjestu je previše prašine koja ulazi u zavar
- Zavarivač radi u prisilnom položaju
- Zavarivač radi u nefiziološkom položaju

6.5 Postupak zavarivanja

- Odabranim postupkom zavarivanja od zavarivača se traži natprosječna vještina

6.6 Tehnologija zavarivanja

- Pogrešno izračunata temperatura predgrijavanja
- Pogrešan redoslijed zavarivanja
- Pogrešna manipulacija sa izratkom nakon zavarivanja
- Propisan pogrešan dodatni i/ili potrošni materijal

	POROZITET	UKLUJUĆI	NALJEPLJIVANJE	NEPOTPUNA PENETRACIJA	UGORINE	PREKLOP	PUKOTINE
Plazma zavarivanje	+	+	+	+	+	-	+
Zavarivanje pod praškom	+	+	+	+	+	+	+
TIG zavarivanje	+	+	+	+	+	+	+
Zavarivanje u zaštiti plina punom žicom	+	+	+	+	+	+	+
Zavarivanje u zaštiti plina praškom punjenom žicom	+	+	+	+	+	+	+
REL zavarivanje	+	+	+	+	+	+	+
Plinsko zavarivanje	+	+	+	+	+	+	+

Tablica 1. Mogućnost pojavljivanja pojedinih tipova grešaka u pojedinim tipovima zavarenih spojeva
+ označava da se greška pojavljuje
- označava da se greška ne pojavljuje

7. OTKRIVANJE POGREŠAKA

Postoje dva osnovna načina otkrivanja pogrešaka:

7.1 Kontrola sa razaranjem

Kontrola sa razaranjem više se upotrebljava za ispitivanje mehaničkih svojstava i kemijskog sastava, a za ispitivanje pogrešaka u zavarenom spoju upotrebljava se samo u slučajevima masovne proizvodnje na proizvodima gdje se zavareni spojevi nalaze na nepristupačnim mjestima.

Kontrola se provodi tako da se iz serije uzme proizvod i uništi ga se ispitivanjem.

7.2 Kontrola bez razaranja

Kontrolom bez razaranja otkrivaju se pogreške u pripremi za zavarivanje, na površini zavara i u unutrašnjosti zavara

Odabir načina kontrole ovisi o očekivanim greškama i zahtjevima kakvoće.



7.2.1 Vizualna kontrola

Vizualna kontrola upotrebljava se za otkrivanje pogrešaka u pripremi za zavarivanje, tijekom zavarivanja i za otkrivanje pogrešaka na površini zavara.

7.2.2 Kontrola penetrantima

Kontrola penetrantima upotrebljava se za otkrivanje stisnutih, prostim okom nevidljivih površinskih pukotina.

Kontrola magnetnim česticama.

Kontrola magnetnim česticama upotrebljava se za otkrivanje pukotina na površini ili malo ispod površine.

7.2.3 Ultrazvučna kontrola

Ultrazvučna kontrola upotrebljava se za otkrivanje pogrešaka unutar zavara. Ovisno u namještenoj frekvenciji, mogu se otkriti i najsitnije pogreške.

7.2.4 Radiografska kontrola

Radiografska kontrola upotrebljava se za otkrivanje pogrešaka unutar zavara. Veličina otkrivene pogreške ovisi o veličini zrna na filmu i kakvoći snimke.

17

8. ZAKLJUČAK

U članku je prikazan kratak presjek kroz problematiku grešaka u zavarenim spojevima. Svaki tip greške zaslužuje zasebnu analizu i mnogo više prostora. Greške u zavarenim spojevima će zbog njihovog utjecaja na sigurnost konstrukcije, kvalitetu i troškove izrade zasigurno i dalje biti predmet stručnih i znanstvenih rasprava i analiza.



RAD 6

TIG ZAVARIVANJE ALUMINIJA





TIG ZAVARIVANJE ALUMINIJA I ALUMINIJSKIH LEGURA

Tomislav Tucman, dipl.ing
Fronius Austrija
ZIT international d.o.o. Zagreb
Rakitnica 2
10000 ZAGREB
Tel: 01 2404 356
Fax. 01 2404 359
E-mail: ttucman@zit-international.hr

Sažetak: Tig zavarivanje aluminija često je neopravdano uzrok izbjegavanju aluminija kao materijala u primjeni. U tekstu su dane kratke i osnovne upute o ponašanju prilikom zavarivanja aluminija i odabiru uređaja i alata.

Ključne riječi: aluminij, zavarivanje aluminija, čišćenje



UVOD

1.1. POVIJEST

Povijest TIG procesa zavarivanja potiče iz 1924 kada je fizičar Lanmuir uspostavio električni luk između dvije netaljive volfram elektrode u zaštiti vodika.

Godine 1940 istraživanja u Americi počinju zavarivati sa jednom volframovom elektrodom koristeći atmosferu plina helija.

Tako da se još dan danas ponegdje u svijetu ovaj proces naziva HELIARC zavarivanje.

2.1. OPIS PROCESA

TIG proces zavarivanja je proces u kojem se osnovni materijal zagrijava i spaja sa netaljivom elektrodom. Električni luk gori između netaljive elektrode i osnovnog materijala. Talina i elektroda su zaštićene protokom zaštitnog plina kroz sapnicu. Elektroda je pozicionirana u centru sapnice.

Najuobičajeniji zaštitni plin koji se koristi je **Argon** i u rijetkim slučajevima **Helij** ili neka mješavina tih plinova.

Većina metala se zavaruje sa istosmjernom strujom (DC). **Samo se Aluminij uglavnom zavaruje izmjeničnom strujom (AC)**. Zavarivanje aluminija ćemo malo pobliže pojasniti.

3.1. TIG AC – ZAVARIVANJE ALUMINIJA

Tipična karakteristika aluminija kao materijala je njegov veliki afinitet prema kisiku. To rezultira time da se na površinama aluminija koji je u kontaktu sa zrakom odmah formira oksidni sloj debljine 0,1 μ .

Oksidni sloj ima točku taljenja **od 2015°C**, a aluminij kao materijal ima točku taljenja od otprilike **650°C** (u zavisnosti koja je legura).

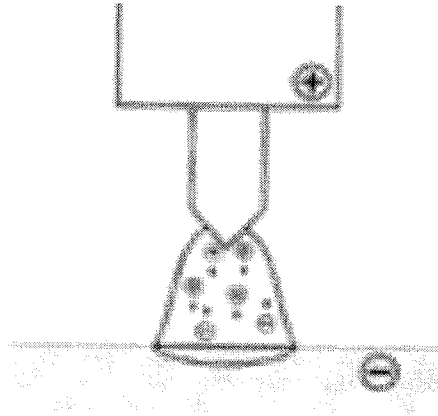
Znači dok je oksidni sloj na površini aluminija zavarivanje je nemoguće!!!

Oksidni sloj se neće topiti, a aluminij ispod će iscuriti. Zato je absolutno nužno prvo uništiti oksidni sloj.

Oksidni sloj se može odstraniti:

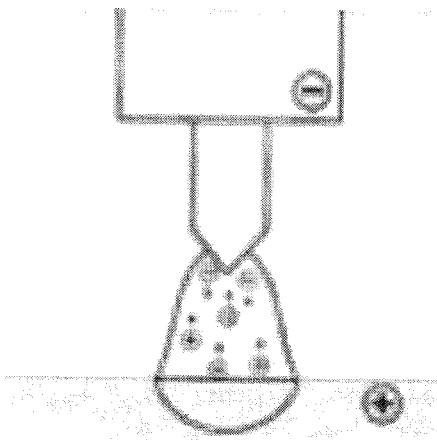
- mehanički
- kemijski (vrlo komplicirano i zahtjeva puno rada)
- staviti na elektrodu pozitivan pol
- s izmjeničnom strujom

Odstranjanje zaštitnog sloja vrši se pozitivnim ionima koji udaraju u površinu i razbijaju taj oksidni sloj (kao pjeskarenje). Taj efekt čišćenja poboljšava se još sa dodatkom inertnog plina – Argona koji pozitivnim ionima daje dodatnu težinu.



Slika. Prikaz faze čišćenja

Kada je na volframovoj elektrodi negativan pol onda se vrši zagrijavanje aluminija koje omogućava samo zavarivanje.



Slika. Prikaz faze topljenja

Znači kombinacijom pozitivnog i negativnog polariteta struje (AC/DC) uspješno se zavaruje aluminij i njegove legure.



4.1. IZVORI STRUJE ZA TIG ZAVARIVANJE ALUMINIJA

Vežano na taj princip kombinacije pozitivnog i negativnog polaritet za izvor struje zavarivanja potrebno je imati i uređaj koji će generirati izmjeničnu struju na netaljivoj elektrodi.

Firma Fronius je razvila invertorsku generaciju TIG uređaja koji koriste kombinaciju sinusoidnog oblika izmjenične struje i pravokutnog oblika izmjenične struje. Takav oblik izmjenične struje znatno smanjuje razinu buke koja se generira izmjeničnom strujom koja je neophodna za zavarivanje aluminija. Nova generacija TIG uređaja za zavarivanje aluminija je laka i prijenosna, te sa već ugrađenim pogodnostima koje postaju neminovne kod zavarivanja aluminija:

- podešavanje početne struje zavarivanja
- podešavanje završne struje zavarivanja
- oblikovanje kuglice na vrhu volfram elektrode
- impulsne struje zavarivanja
- odabir i podešavanje faze čišćenja i faze topljenja i dr.

Snaga potrebna za zavarivanje aluminija otprilike se računa da je oko **40A po milimetru debljine materijala** koji se zavaruje. Prema tome bi se i trebao odabrati uređaj za zavarivanje.

5.1. PRIPREMA SPOJA I SAMO ZAVARIVANJE ALUMINIJA

Nakon što se čišćenje samog predmeta zavarivanja izvede kvalitetno i temeljito (odmaščivanje i uklanjanje prljavštine) bitno je da se pri obradi aluminija koriste samo INOX alati koji se onda ne koriste za nešto drugo.

Evo nekoliko savjeta koje je potrebno imati na umu kada se pristupa zavarivanju aluminija:

- kod sučeljenog spoja potrebno je donji rub materijala lagano zaobliti kako bi se izbjegli oštri rubovi koji mogu stvoriti okside u materijalu
- potrebno je kod pripreme zavara otvoriti veći kut nego kod čelika
- ako je zazor veći od 2mm treba se koristiti podloga korijena, najbolja od CrNi, a za prinudne pozicije može i keramika, nikako ne koristiti bakar
- sučeoni spoj je najbolje zavarivati bez zazora
- kada se zavaruju deblji materijali najčešće je potrebno predgrijati materijal
- volfram elektrodu koristiti sa zelenom ili bijelom oznakom
- prilikom zavarivanja aluminija elektroda na vrhu stvara kuglicu, za razliku kod zavarivanja čelika gdje je oblikovana u šiljak
- kod zavarivanja aluminija električni luk je malo «jači» nego li kod čelika odnosno potrebna je malo jača zaštita za zavarivača



ZAKLJUČAK

TIG zavarivanje aluminija je proces koji se koristi sve više i više, te sami zavarivači ga upotrebljavaju gdje je god to moguće. Pridržavanjem osnovnih pravila koje materijal aluminij zahtijeva kao takav, i primjenom pravilne tehnologije, zavarivanje aluminija postaje lako i bez grešaka.

Zato nije potrebno izbjegavati aluminij kao materijal, već upravo suprotno zbog njegovih osobina i znanjem o njegovom ponašanju treba težiti što većoj primjeni aluminija i njegovih legura.

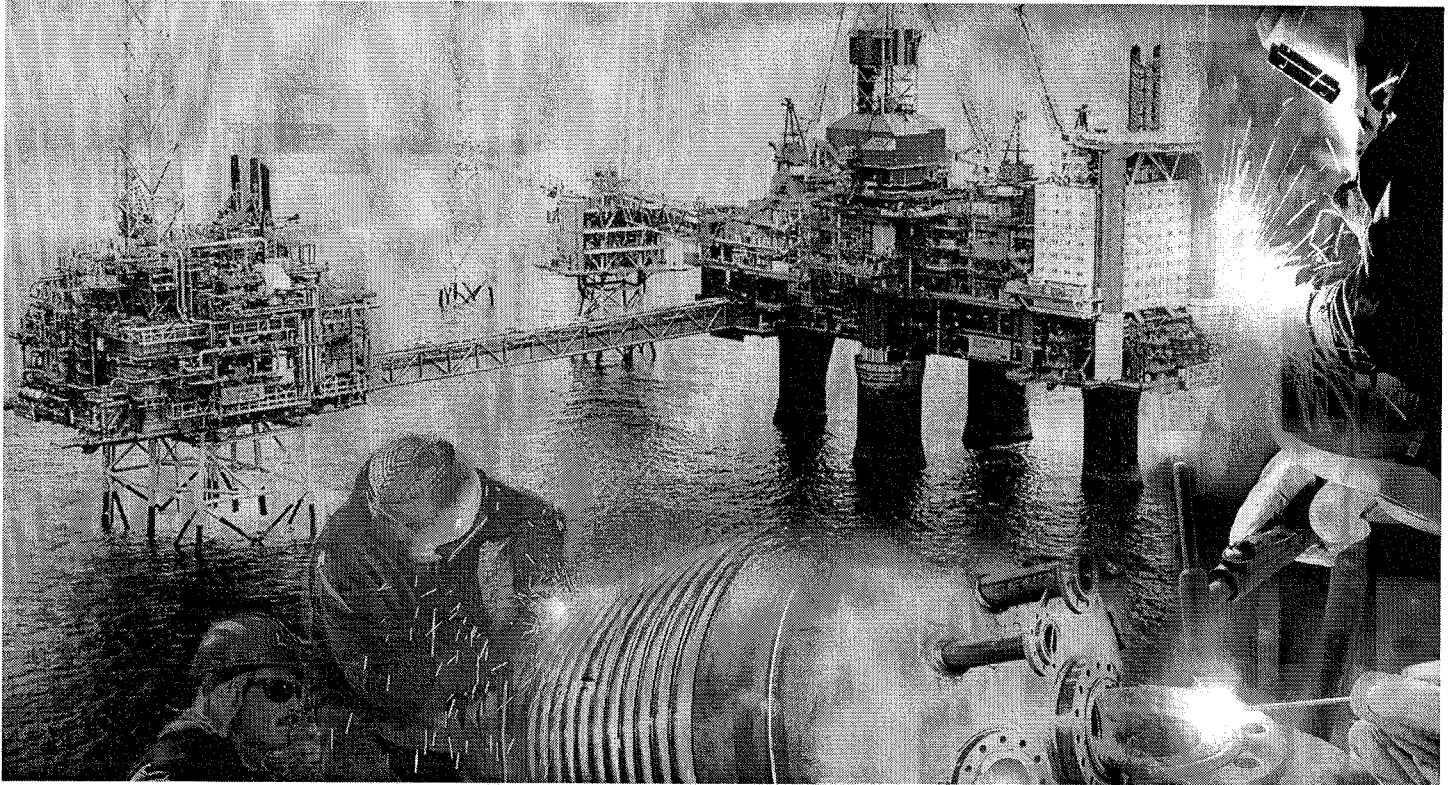
SPECIAL REPAIRS BY WELDING

www.big.hr

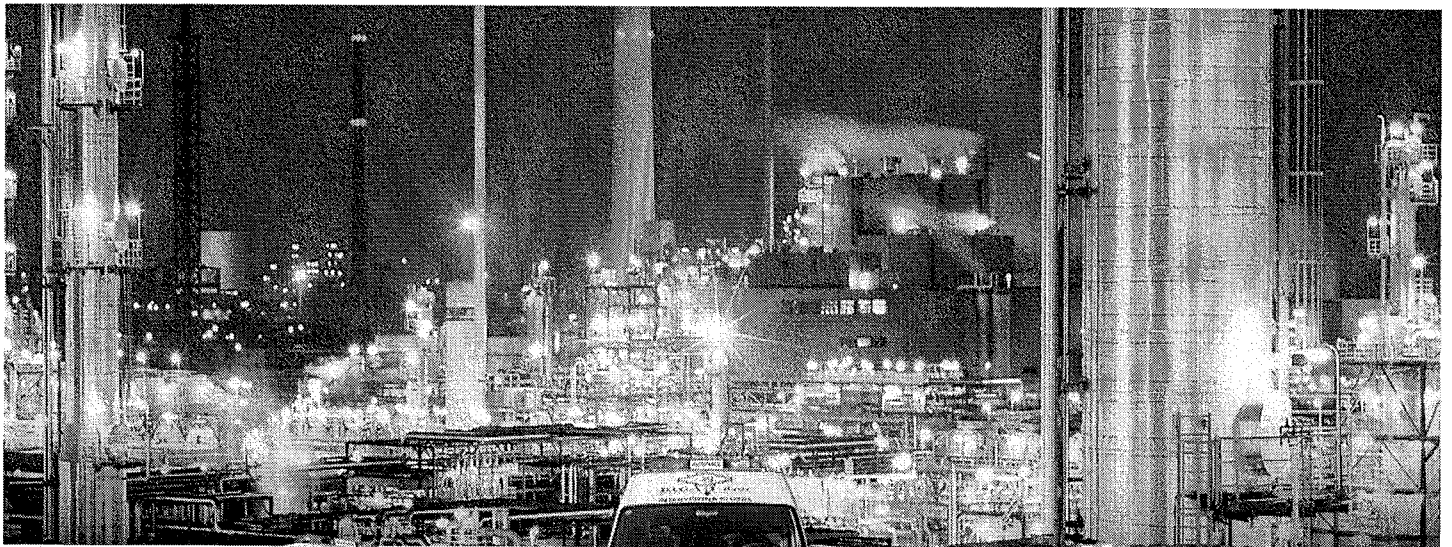
SPECIJALNA REPARATurna ZAVARIVANJA

MAINTENANCE AND SERVICING OF VARIOUS SHIP/INDUSTRY EQUIPMENT OR SYSTEMS

ODRŽAVANJE I SERVISIRANJE RAZLIČITE BRODSKE/INDUSTRIJSKE OPREME ILI SISTEMA



U skladu sa Bureau Veritas Propisima za specijalna zavarivanja kao i HRN EN 729-2



INTERVENTNA SLUŽBA 0-24

☎ 052/851-828, 098/420-565, 098/98-28-940



B.I.G.A. I d.o.o.

www.big.hr

HR - 52220 LABIN, Dubrova 6 Tel. 00 385 52/880-882, 851-828 Fax. 00 385 52/880-883, 851-828, e-mail. biga@biga.hr





D.O.O. ZA TRGOVINU I TISAK

52100 PULA, Braće Levak 10

Tel.: 052/500-491; Fax: 500-629

e-mail: birocom@gmail.com

PRODAJA:

- RIBONA
- TONERA
- KUVERTI
- ADDING ROLA
- KALKULATORA
- REGISTRATORA
- PISAĆEG PRIBORA
- MAGNETNIH MEDIJA
- UREDSKOG PRIBORA
- PRIGODNIH POKLONA
- FOTOKOPIRNOG PAPIRA
- BESKONAČNIH OBRAZACA

TISAK:

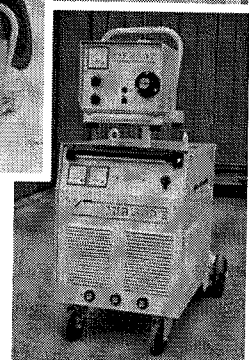
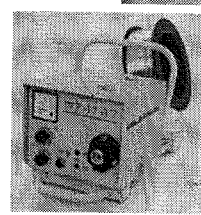
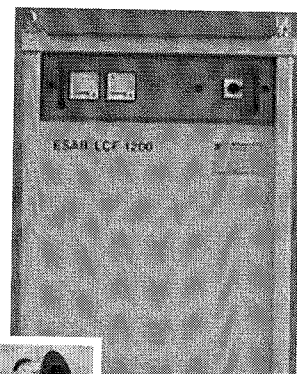
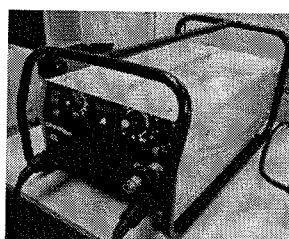
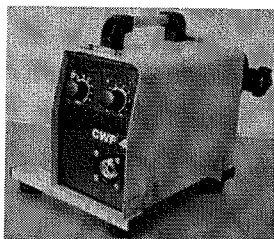
- OFFSET • DIGITALNI • TAMPON
- PLASTIFIKACIJA • SPIRALNI UVEZ
- LETAKA
- ETIKETA
- KUVERTI
- BLOKOVA
- POZIVNICA
- KATALOGA
- JELOVNIKA
- KALENDARA
- PROSPEKATA
- RAZGLEDNICA
- VIZIT KARTICA
- MEMORANDUMA



MULTIARC SYSTEM

Istodobna opskrba više zavarivača 6-12 za MIG/MAG i REL visokokvalitetno zavarivanje u brodogradnji i sličnim teškim uvjetima

- Centralni izvor LCF1200/2400
- Chopper modul CHP450m
- Dodavač žice CWF41 gt
- Distribucijska kutija

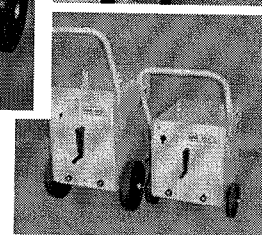
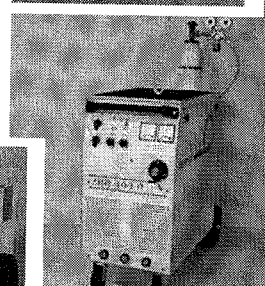
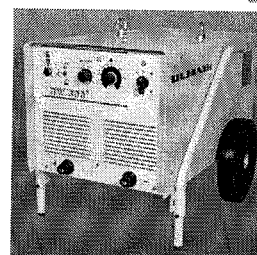


MIG/MAG OPREMA ZA ZAVARIVANJE

- Izvori struje za MIG/MAG zavarivanje:
 - Tiristorski, kontinuirana regulacija napona MIG400/500E
 - Sa sklopkama, fina regulacija napona MIG330HS
- Uređaji za dodavanje žice:
 - WF41GT –kontinuirana regulacija napona luka - Za rad s izvorima s tiristorskom regulacijom
 - WF41A –kontinuirano i točkasto zavarivanje - Za rad s ispravljačima s preklopkom
- MIG/MAG kompaktni uređaji s ugrađenim dodavačem žice
 - MIG200/250C
 - MIG330C

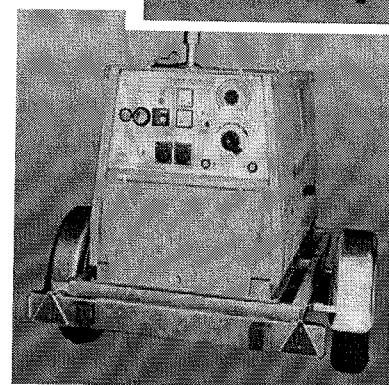
REL ISPRAVLJAČI ZA ZAVARIVANJE

- Tiristorski ispravljači za REL i TIG zavarivanje GW400 i GW600
- Ispravljači za REL zavarivanje s transformatorom s pomičnom jezgrom ARC300 i ARC400

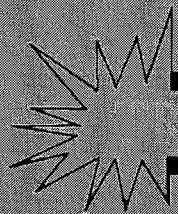


DIZEL AGREGATI ZA ZAVARIVANJE

- Agregat ARB550 za REL i TIG zavarivanje – kontinuirana regulacija struje zavarivanja u odabranoj skali, s pomoćnim generatorom za napajanje raznih alata, naprava i rasvjete.
- Agregat ARD550-CC za REL-TIG zavarivanje s tiristorskom regulacijom struje zavarivanja, s pomoćnim generatorom za napajanje raznih alata, naprava i rasvjete. Agregat ARD550CC/CV ima mogućnost zavarivanja REL i MIG/MAG postupkom.



U cilju stalnog unapređenja zadržavam pravo izmjene specifikacije bez prethodne najave

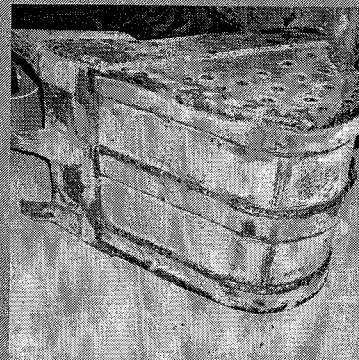


TRADE d.o.o.

Blažići 2a, 51216 Viškovo
Hrvatska

tel: 051/683-400
fax: 051/681-088
e-mail: info@treatrade.hr

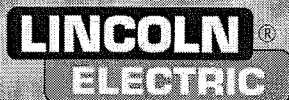
Najbolji odabir za sve vrste navarivanja, specijalnog zavarivanja, metalizacija i svih vrsta reparatura.



Pored navedenog ponosni smo na činjenicu da smo distributeri svjetski poznatih tvrtki s polja zavarivanja, plamenog rezanja i zavarivanja, automatizacije zavarivanja i rezanja i cjelokupnog programa vezanog uz navedene tehnologije.

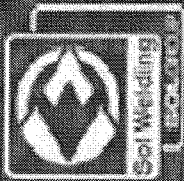
Distributeri smo slijedećih tvrtki:

- Lincoln-Electric - izvori struje za zavarivanje, rezanje plazmom i cjelokupni program dodanog materijala,
- Harris Calorific - oprema za plameno rezanje i zavarivanje s pripadajućom mjernom tehnikom,
- BUG-O - automatizacija rezanja i zavarivanja,
- LASTEK - specijalni dodatni materijal za zavarivanje i metalizaciju,
- SACIT - zaštita na radu
- CENTRICUT - potrošni materijal za rezanje plazmom.



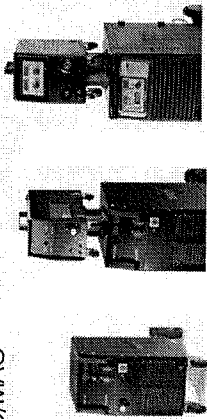
HARRIS



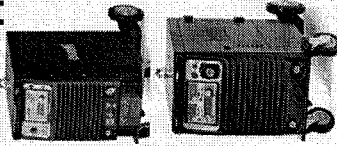
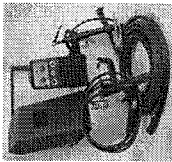


UREDAJI ZA ZAVARIVANJE/REZANJE

MIG/MAG



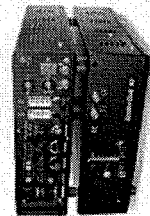
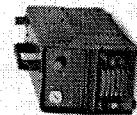
TIG HF DC AC/DC



REL

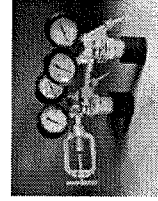
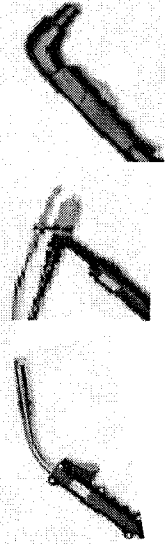


PLAZMA REZANJE I ZAVARIVANJE



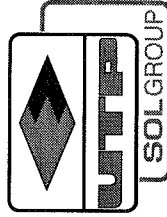
Potrošni materijal u zavarivanju:

Gorionici MIG/MAG, TIG, PLASMA, Maske, Red.ventilji,...



Kompletni robotski sistemi

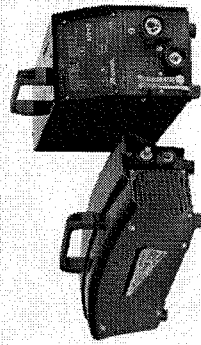
- Proizvodnja i distribucija teh.plinova
- Čisti plinovi i mješavine
- Potrošni i rezervni dijelovi gorionika
- Prodaja i servis uređaja za zavarivanje/rezanje
- Autogena oprema za zavarivanje/rezanje
- Žica za zavarivanje



UTP d.o.o.
Sv. Polikarpa 4
52100 PULA
Tel: 052/214886
Fax: 052/215056

Lokacije:

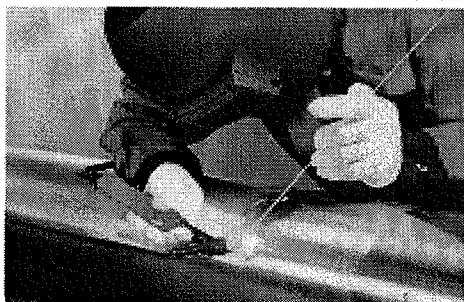
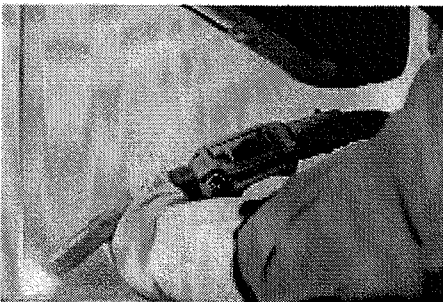
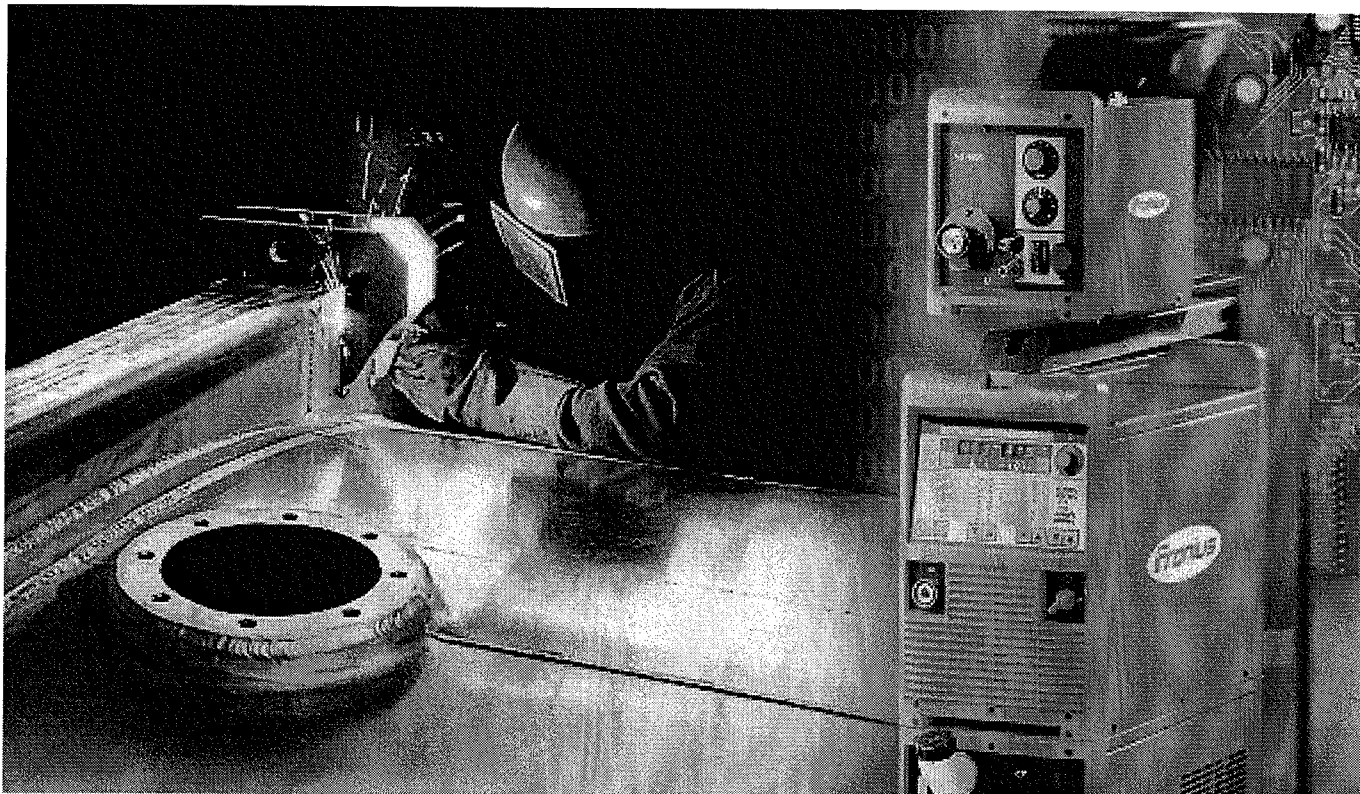
DECENTRALIZIRANI SUSTAV ZAVARIVANJA



KISIKANA d.o.o.
S.i.A. Radica17
44000 SISAK
Tel: 044/534852
Fax: 044/534851

UTP d.o.o.-ZAGREB
Bani 96, Buzin
10010 Zagreb
Tel: 01/6608213
Fax: 01/6608215





GENERALNI ZASTUPNIK ZA FRONIUS:

ZIT

international d.o.o.

OBRATITE SE S POVJERENJEM

Rakitnica 2

Zagreb

Tel/fax.: +385 1 24 04 356, 24 04 359

e-mail: zit-international@zg.tel.hr

<http://www.zit-international.hr>



PERFECT WELDING

