



ORBITALNO ZAVARIVANJE NEHRĐAJUĆIH ČELIKA TIG POSTUPKOM

EWE Darko Ćordaš, dipl. ing.
Cromatec d.o.o., 10430 Samobor, Hrvatske bratske zajednice 2
Tel: 01/33 64 358
Fax: 01/33 64 359
E-mail: darko.cordas@cromatec.hr

Sažetak:

*Kombinacija riječi **Orbitalno zavarivanje** označava proces kod kojeg električni luk putuje oko radnog komada opisujući kružnicu, odnosno gdje električni luk putuje minimalno 360 stupnjeva oko radnog komada bez prekida. Orbitalno zavarivanje se prvenstveno koristi kada su zahtjevi na kvalitet zavarenog spoja visoki u metalurškom i geometrijskom smislu. Ovi zahtjevi nisu samo usmjereni na mehanička svojstva i na zahtjeve kontrole kvalitete prozračivanjem već antikorozijskim i estetskim izgledom zavarenog spoja. Glavni razlozi korištenja ovog načina zavarivanja su kod većine korisnika: ravan, jednolik i homogen korjenski zavar.*

Ključne riječi:

orbitalni TIG postupak, ručni TIG postupak, primjena

1. UVOD

Naziv orbitalno zavarivanje potječe od latinske riječi ORBIS = kružnica.

Orbitalno zavarivanje je proces kod kojeg električni luk putuje kružno oko radnog komada opisujući kružnicu, odnosno gdje električni luk putuje za kut od minimalno 360 stupnjeva oko radnog komada bez prekida.

Orbitalno zavarivanje prvi put primjenjeno je 60-tih godina prošlog stoljeća kada je grupa inženjera radeći za veliku avionsku kompaniju razvila sistem koji je omogućio automatsku rotaciju TIG gorionika oko cijevi, što je tada bilo značajno unaprijeđenje u odnosu na ručno TIG zavarivanje. Orbitalno zavarivanje se prvenstveno koristi kada su zahtjevi na kvalitet zavarenog spoja visoki u mehaničkom, metalurškom i geometrijskom smislu. Ovi zahtjevi nisu samo usmjereni samo na mehanička svojstva i na zahtjeve kontrole kvalitete npr. prozračivanjem već i na korozijska svojstva i estetski izgled zavarenog spoja.

Glavni razlozi korištenja orbitalnog zavarivanja su kod većine korisnika: ravan, jednolik i homogen korijenski zavar.

2. POSTUPCI

Postupci zavarivanja koji se danas koriste kod orbitalnog zavarivanja bilo kao mehanizirani ili polu-automatizirani procesi su:

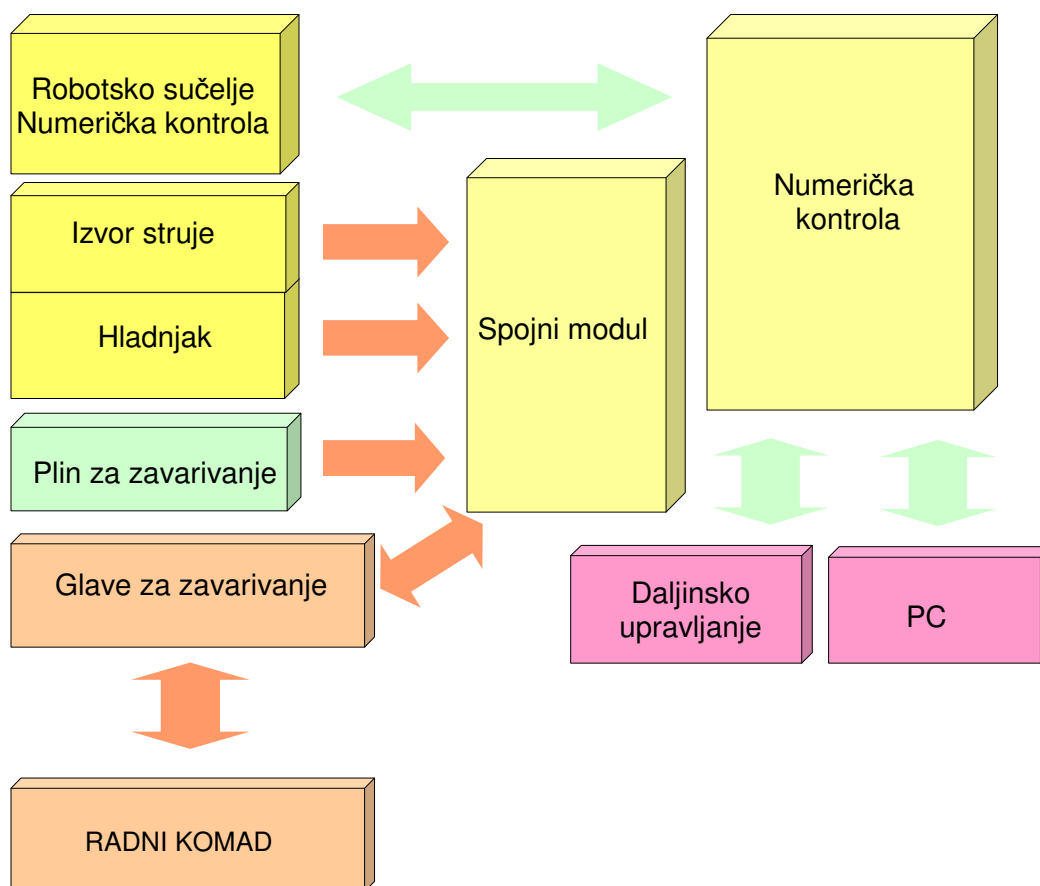
1. TIG postupak za zavarivanje sa ili bez dodatnog materijala (hladna i vruća žica)
2. TIG postupak u uskom žljebu (vruća žica)
3. MIG/MAG postupak za zavarivanje
4. Plazma postupak za zavarivanje (samo u posebnim slučajevima u HV položaju - zidni)

Zbog potrebe dobre kontrole taline zavara, orbitalni proces zavarivanja se koristi većinom u kombinaciji s TIG postupkom zavarivanja hladnom žicom ili bez dodatnog materijala uz poštivanje svih pravila TIG postupka zavarivanja odabirom plina za zavarivanje, čistoće i pripreme spoja. Svakako treba voditi računa i o zavarljivosti materijala i strukturnim zahtjevima metala zavara koji su bitni za mehanička i korozijska svojstva zavarenog spoja.

Rotaciju oko radnog komada obavlja dio opreme za orbitalno zavarivanje koji nazivamo orbitalnim glavama za zavarivanje. Orbitalna glava za zavarivanje se sastoji od fiksnog dijela koji služi za fiksiranje glave na radni komad i dijela koji rotira i na sebi nosi gorionik za zavarivanje. Na taj način gorionik za zavarivanje može svojom kretnjom opisivati kružnicu oko radnog komada.

U praksi možemo susresti način zavarivanja koji bi se mogao nazvati orbitalnim zavarivanjem, gdje radni komad rotira dok gorionik miruje što je u suprotnosti s definicijom orbitalnog zavarivanja. Međutim, u ovom slučaju se ipak radi o zavarenom spoju koji čini kružnicu i koji nastaje minimalnom rotacijom od 360°, ali sada radnog komada, a ne gorionika odnosno električnog luka. Gorionik za zavarivanje može se u ovom slučaju postaviti u najpovoljniji položaj glede utjecaja sile gravitacije na talinu zavara i konfiguracije radnog komada. Prednost ovog sistema je u tome što rezultati mogu biti konstantniji i moguće je ostvariti veće brzine zavarivanja, ali je velika mana fleksibilnost primjene.

Shematski prikaz orbitalnog sustava za zavarivanje



3. PRIMJENA, MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJA

Područja industrije u kojima se orbitalno zavarivanje prvenstveno koristi su:

- ***Kemijska i naftna industrija***
- ***Farmaceutska industrija***
- ***Prehrambena industrija***
- ***Zrakoplovna i svemirska industrija***
- ***Nuklearna industrija***
- ***Poluvodička industrija***

Osim gore navedenih orbitalno zavarivanje se često koristi i u slijedećim industrijskim granama i proizvodnji:

- ***Pneumatskih dijelova***
- ***Autoindustriji***
- ***Izgradnji magistralnih cjevovoda***
- ***Brodogradnji itd.***

Primjena orbitalnog zavarivanja kao što se može primjetiti iz navedenog je široka. Logičan zaključak je da su time mogućnosti korištenja ogromne, no one su limitirane kako u financijskom smislu zbog visoke cijene opreme, tako i u debljini i vrsti materijala, pristupačnosti spoju za zavarivanje, mogućnostima pripreme itd. Zbog specifičnosti orbitalnog zavarivanja to su elementi kružnog oblika koji se spajaju zavarivanjem (cijevi, lukovi, koljena, T-komadi, prirubnice, razni cijevni priključci i slični spojevi).

4. OPREMA ZA ORBITALNO ZAVARIVANJE

Oprema za orbitalno zavarivanje sastoji se prvenstveno od izvora struje za zavarivanje i glava za orbitalno zavarivanje. Jedan od zadataka izvora struje za zavarivanje je kontrola i upravljanje kretanjama glava za orbitalno zavarivanje. Glave mogu biti različitih izvedbi i konstrukcijskih rješenja. Dio opreme za orbitalno zavarivanje svakako mogu biti i razne dodatne naprave.

4.1 Izvor struje za TIG zavarivanje

Izvori struje za zavarivanje mogu biti istosmjerni (DC) izvori namjenjeni prvenstveno za zavarivanje konstrukcijskih čelika, nehrđajućih čelika i titana (slika br. 1), ali mogu biti i izmjenični (AC) izvori struje koji se tada mogu primjenjivati za zavarivanje aluminijskih legura.

Suvremeni izvori struje za orbitalno zavarivanje moraju posjedovati sposobnost upravljanja i kontrole strujama za zavarivanje, brzinama rotacije glava za zavarivanje, kontrole dodavanja dodatnog materijala, kontrole protoka plina za zavarivanje i zaštitu korijena, kontrole hlađenja rashladnom tekućinom glava za zavarivanje itd. Danas, izvori struje za zavarivanje moraju posjedovati mogućnost praćenja bitnih parametara za zavarivanje koji utječu na krajnji rezultat kvalitete zavarenog spoja, njihov ispis putem internog ili vanjskog tiskača, prijenos podataka na PC radi obrade istih, memoriranje programa, autoprogramiranje, poruke upozorenja itd.



Slika 1. Prijenosni digitalni izvor struje za orbitalno zavarivanje TIG postupkom ORBIMAT 165CAAdvanced

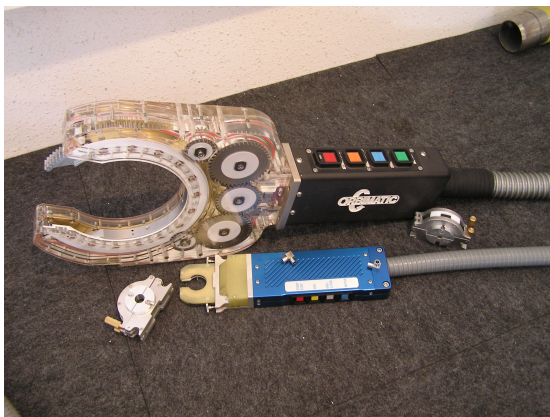
5. ORBITALNE GLAVE ZA ZAVARIVANJE

Tri su uobičajna tipa orbitalnih glava za zavarivanje koje pokrivaju gotovo cijelo područje primjene i potreba orbitalnog zavarivanja. To su potpuno zatvorene glave za zavarivanje, otvorene glave za zavarivanje i glave za zavarivanje cijevi u cjevnu stjenu.

5.1 Zatvorene glave za zavarivanje

Zatvorene glave za orbitalno zavarivanje namjenjene su za izvođenje procesa zavarivanja u potpuno zatvorenom komornom sistemu. Komorni (zatvoreni) dio glave puni se prije zavarivanja zaštitnim plinom za zavarivanje tako da je cijeli zavareni spoj tokom procesa zavarivanja potpuno zaštićen od utjecaja atmosfere. Ove glave se prvenstveno koriste za zavarivanje nehrđajućih čelika i titana, upravo iz razloga zaštite površine (lica i korijena) zavarenog spoja od oksidacije.

Ove orbitalne glave za zavarivanje služe isključivo za zavarivanje bez dodatnog materijala, te se zbog toga koriste za debljine materijala do 3 mm, (max. do 4 mm), te za vanjske promjere cijevi od (1,6) 2 do cca. 170 mm ovisno o proizvođaču (slika br.2).

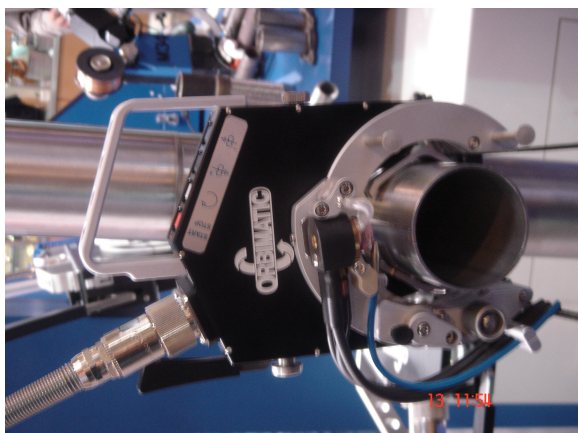


Slika 2. Primjeri zatvorenih glava za zavarivanje proizvođača ORBIMATIC, Njemačka

5.2 Otvorene glave za orbitalno zavarivanje

Otvorene glave za orbitalno zavarivanje uobičajeno se koriste za zavarivanje materijala koje je potrebno iz tehnoloških razloga zavarivati uz uporabu dodatnog materijala, za debljine stijenki iznad 3 mm i za višeslojno zavarivanje (slika br. 3 i 4). Gorionik za zavarivanje se ovisno o proizvođaču može zakretati između 35° i 45° što daje mogućnost zavarivanja kutnih zavarenih spojeva. Održavanje visine udaljenosti netaljive volfram elektrode od radnog komada održava se mehaničkim putem.

Međutim, kod višeslojnog zavarivanja potrebno je ostvariti njihanje i automatsku kontrolu udaljenosti netaljive volfram elektrode od radnog komada. U ovom slučaju gorionik za zavarivanje mora biti montiran na motorizirani križni support. Motori moraju biti upravljivi od strane izvora struje za zavarivanje. Prilikom izrade programa za zavarivanje zadaju se osim standardni i parametri širine njihanja, frekvencije njihanja, zadržavanje u određenim položajima, ali se sada visina tj. udaljenost netaljive volfram elektrode od radnog komada mora održavati elektronski, odnosno mora postojati automatska kontrola napona zavarivanja (AVC).



Slika 3. Otvorena glava sa AVC kontrolom



Slika 4. Otvorena glava bez AVC kontrole

U ovu grupu spadaju i specijalne glave za zavarivanje za zavarivanje hladnom i vrućom žicom čiji su nosači i gorionici prikazani na slikama 5. i 6.



TIG / GTAW "standard" torch module

Slika 5.
 Nosač TIG gorionika za hladnu i vruću žicu opremljen sistemom za hladnu žicu

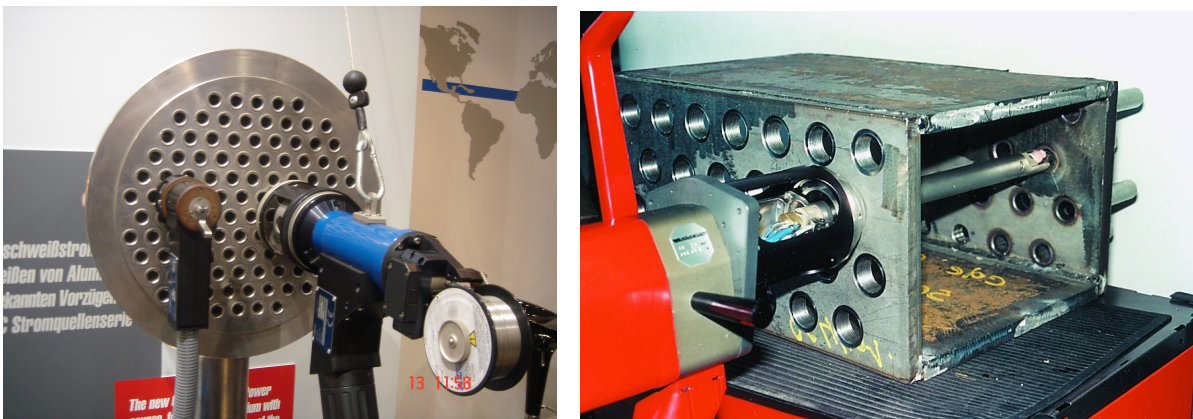


Hot wire, "narrow groove" torch module

Slika 6.
 Gorionik za zavarivanje u uskom žljebu koji se koristi u kombimnaciji sa vrućom žicom

5.3 Orbitalne glave za zavarivanje cijevi u cjevne stjene

Ove se glave koriste za izradu i reparaturu izmjenjivača topline različitih izvedbi i namjena. Uobičajeno je da cijevne stjene posjeduju više stotina do desetak tisuća cijevi koje se moraju zavariti (cijevni snop). Za zavarivače je to izuzetan napor ukoliko se isti moraju zavarivati ručno, ali i veličina cijevi mali razmak između njih i sl. uveliko otežavaju rad zavarivača koji i uz najbolju vještinu i volju ne može u ovom slučaju dati jednoliku kvalitetu i visoku produktivnost. Kako su svi zavareni spojevi jednaki, operater mora samo poštovati pravila rada koji će davati konstantnu kvalitetu. Glave za zavarivanje mogu biti različitih izvedbi i specijalnih namjena kao što je zavarivanje cijevi unutar cijevne stjene, sa ili bez dodatnog materijala (Slika 7 i 8) .



Slika 7. i 8. Glave za orbitalno zavarivanje cijev-cijevna stjena

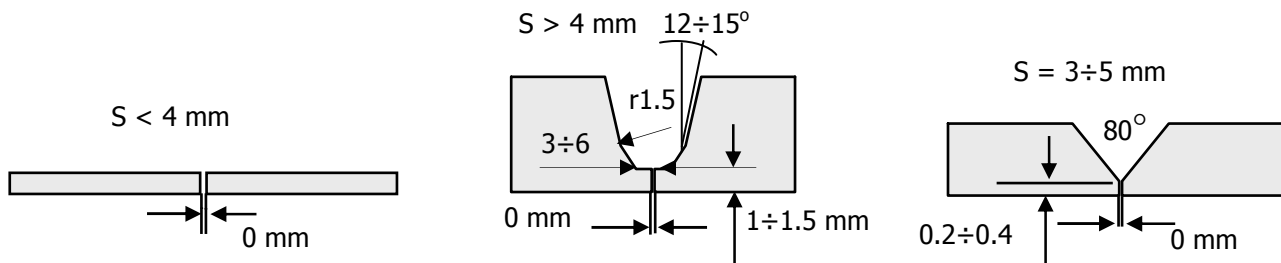
6. PRIPREMA SPOJEVA, IZBOR I GRANIČNE DEBLJINE

Priprema spojeva za zavarivanje prilagođena je zahtjevima mehaniziranog zavarivanja, te ovisi o izabranom postupku zavarivanja ili pak kombinaciji postupaka (korijen + popuna). Kod izbora oblika i dimenzija spoja za zavarivanje osim postupka za zavarivanje treba uzeti u obzir debljinu i vrstu materijala, te ponekad i položaj za zavarivanje.

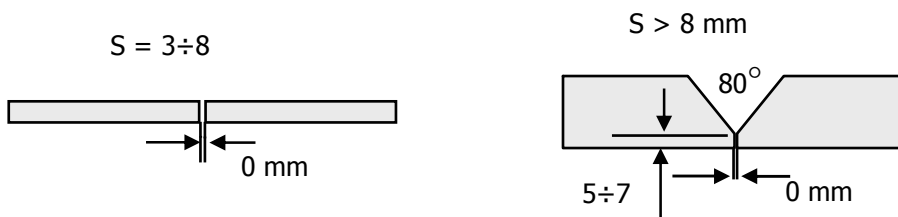
Priprema spoja mora se raditi strojno za to namjenjim alatima. Tolerancije pripreme smiju odstupati u granicama od 10% do 20%. Međutim granične vrijednosti tolerancija ne bi trebale prelaziti granice za kuteve od $\pm 1^\circ$, te za linearne dimenzije i radijuse od $\pm 0,3$ mm.

U praksi se sreću vrijednosti koje prelaze navedene tolerancije i uspješno se rješavaju. U tom slučaju jedini uvjet za pristupanje zavarivanju je zadana tolerancija mjera propisanih normi i zahtjeva naručitelja.

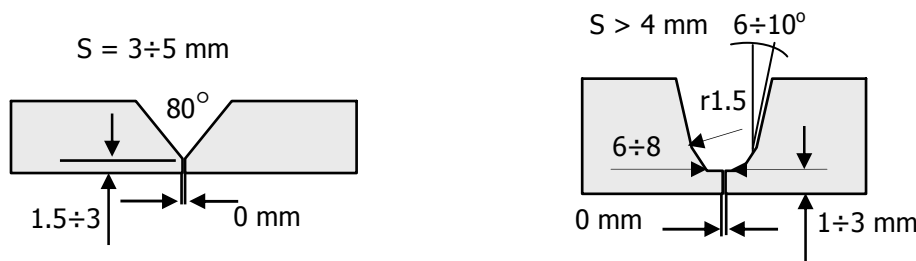
Uobičajeni primjeri pripreme zavarenih spojeva prikazani su na slikama 9, 10 i 11. Treba imati u vidu da su ovo samo orijentacijske pripreme koje se trebaju prilagoditi sukladno točnoj debljini i vrsti materijala.



Slika 9. Priprema spojeva za TIG postupak bez i sa dodatnim materijalom (hladna žica)



Slika 10. Priprema spojeva za Plazma postupak sa dodatnim materijalom (hladna žica)



Slika 11. Pripreme spojeva za TIG postupak sa dodatnim materijalom (vruća žica)

7. PLINOVI ZA ORBITALNO ZAVARIVANJE

Argon, Helij, Vodik i Dušik te njihove mješavine su plinovi koji se često koriste tijekom procesa zavarivanja kao zaštitni plinovi za zavarivanje i zaštitni plinovi za zaštitu korijena zavarenog spoja. Međutim, u Europi se češće koristi plin argon i mješavine argona i vodika, te argona i dušika. Razlog tomu je visoka cijena helija.

Osim što je funkcija zaštitnog plina zaštita taline zavara od utjecaja okoline (oksidacije), uporabom navedenih plinova i njihovih mješavina možemo dodatno utjecati na geometriju zavara, penetraciju i unos toplne u zavareni spoj, ali isto tako možemo utjecati na kemijski sastav i strukturu zavarenog spoja što se nikako ne smije zanemariti prilikom izbora plina za određeni materijal koji se namjerava zavarivati.

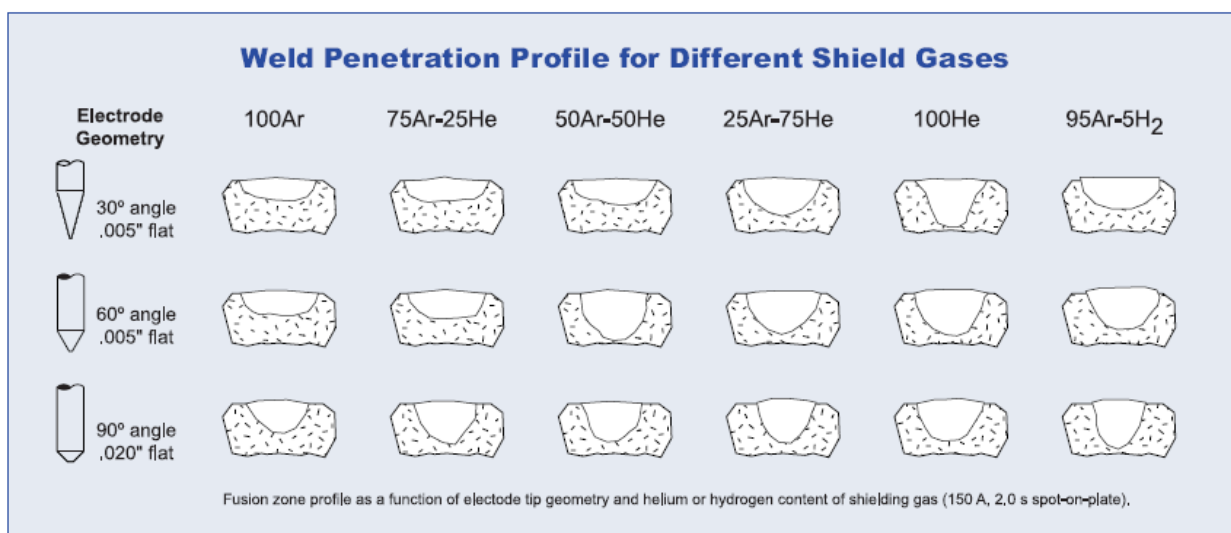
Gore navedeni plinovi i njihove mješavine koriste se za TIG i plazma postupak za zavarivanje, dok se za orbitalni MAG postupak koristi mješavina argona i ugljičnog dioksida.

Može se reći da se plinovi koji se koriste za orbitalno zavarivanje ne razlikuju po sastavu od uobičajenih plinova za ručno zavarivanje za određeni postupak i za određeni materijal, ali se ipak koriste sa provjerenim kemijskim sastavom i visokim stupnjem čistoće. Plinovi koji se koriste u svrhu orbitalnog zavarivanja dati su u tablici br. 1.

Tablica 1. Plinovi koji se koriste u svrhu orbitalnog zavarivanja

Sastav plina	Namjena	Postupak zavarivanja	Materijal
Argon 99,998%	zavarivanje i zaštita korijena	TIG	nelegirani i visokolegirani čelici niže zahtjevane kvalitete metala zavara
Argon 99,999%	zavarivanje i zaštita korijena	TIG, Plazma	nelegirani i visokolegirani čelici, nikl, titan i aluminij
Ar + 2÷5% H ₂	zavarivanje i zaštita korijena	TIG, Plazma	austenitni nehrđajući čelici
Ar + 1 do 2,5% N ₂	zavarivanje i zaštita korijena	TIG	duplex i super duplex čelici, te potpuno austenitni čelici
He (100%)	zavarivanje	TIG	aluminij
Ar + He (25÷75%)	zavarivanje	TIG	nelegirani i visokolegirani čelici, nikl, titan, aluminij
N ₂ + 2÷10% H ₂	zaštita korijena	TIG	visokolegirani čelici
Ar + 18%CO ₂	zavarivanje	MAG	niskolegirani čelici
Ar + 2 do 2,5% CO ₂	zavarivanje	MAG	visokolegirani čelici

Utjecaj sastava zaštitnog plina na penetraciju i geometriju zavarenog spoja uz konstantne ostale parametre zavarivanja (struja, vrsta i promjer netaljive volfram elektrode, kut zašiljenosti netaljive volfram elektrode, udaljenost netaljive volfram elektrode od radnog komada...) prikazan je na slici br. 12



Slika 12. Utjecaj vrste plina i mješavine plinova na oblik zavara i penetraciju

8. PRIPREMA NETALJIVIH VOLFRAM ELEKTRODA

Netaljiva volfram elektroda je izvor električnog luka i jedan je od najvažnijih čimbenika orbitalnog TIG zavarivanja koji se često zapostavlja od strane korisnika. Netaljivu volfram elektrodu mora se brusiti strojno. Kontroliran i pouzdan start ovisi o kvaliteti brušenja i sastavu netaljive volfram

elektrode, ali dakako i o vrsti zaštitnog plina za zavarivanje. Za konstantnu kvalitetu zavarenog spoja izuzetno je važno uz ostale parametre zavarivanja imati konstantnu udaljenost netaljive volfram elektrode od radnog komada, kut i način brušenja elektrode. Uobičajeni kutovi oštrenja netaljive volfram elektrode za orbitalno TIG zavarivanje su između 20° i 40° (kod većih kutova električni luk je nestabilan), te udaljenosti netaljive volfram elektrode od 0,8 do 2,5 mm. Za orbitalno zavarivanje uglavnom se koriste netaljive volfram elektrode WL15, WT 20, WT40.

Tablica 2. Oznake netaljivih volfram elektroda po sastavu

OZNAKA	DODATAK OKSIDA	TIP	OZNAKA BOJOM	
Short code	Oxide additive in %	Type	Identifying color	
W	-	-	green	ZELENA
Lymox	1.80 – 2.20	Mixed oxide	pink	RUŽIČASTA
WC 20	1.80 – 2.20	CeO ₂	gray	SIVA
WL 10	0.90 – 1.20	La ₂ O ₃	black	CRNA
WL 15	1.40 – 1.60	La ₂ O ₃	gold	ZLATNA
WL 20	1.90 – 2.10	La ₂ O ₃	blue	PLAVA
WZ 8	0.70 – 0.90	ZrO ₂	white	BIJELA
WT 10*	0.80 – 1.20	ThO ₂	yellow	ŽUTA
WT 20*	1.70 – 2.20	ThO ₂	red	CRVENA
WT 30*	2.80 – 3.20	ThO ₂	violet	LILA
WT 40*	3.80 – 4.20	ThO ₂	orange	NARANDŽASTA

Tablica 3. Karakteristike neteljivih volfram elektroda prema svojstvima redom: pouzdanost uspostavljanja električnog luka (paljenje), radni vijek, strujno opterećenje, ekološka prihvatljivost (A – vrlo dobar/visoko F – loše/nisko)

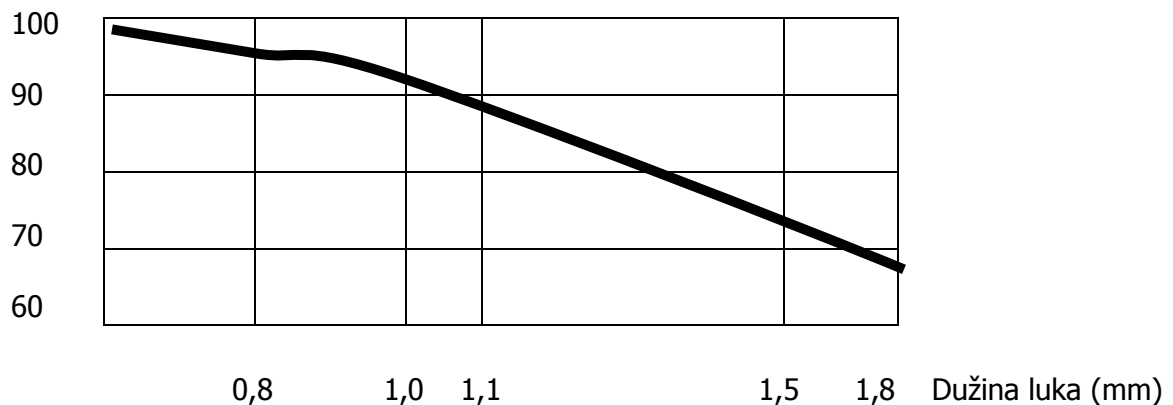
Electrode type	Ignitability	Operating life	electrical capacity	Environmental compatibility
W - green	F	E	E	A
Lymox® - pink	A	A	A	A
WC 20 - gray	B	B	B	A
WL 10 - black	D	B	C	A
WL 15 - gold	A	B	A	A
WL 20 - blue	A	A	B	A
WZ 8 - white	D	C	C	A
WT 10 - yellow*	D	D	D	C
WT 20 - red*	B	C	B	D
WT 40 - orange*	A	B	A	F

Tablica 4. Namjena netaljivih volfram elektroda prema vrsti struje i materijala za zavarivanje oznake u tablici:
 1 = izvrsni rezultati
 2 = dobri rezultati
 -- = ne preporuča se ili je nemoguće za koristiti

Material	Electrode type	DC		AC
		Electrode neg.	Electrode pos.	
Aluminum (width<2.5mm)	WL15, W, WZ8, Lymox®	2	2	1
Aluminum (width>2.5mm)	WL15, W, WZ8, Lymox®	2	--	1
Aluminum alloys	WL15, W, WZ8, Lymox®	2	--	1
Magnesium	W, Lymox®	--	2	1
Magnesium alloys	W, Lymox®	--	2	1
Carbon steel	WL15, WC20, WT20, Lymox®	1	--	--
Stainless steels	WL15, WC20, WT20, Lymox®	1	--	--
Aluminum bronze	W, Lymox®	1	--	--
Silicon bronze	WL15, WC20, WT20, Lymox®	1	--	2
Nickel and alloys	W, Lymox®	2	--	1
Copper	WL15, WC20, WT20, Lymox®	1	--	--
Bronze	WL15, WC20, WT20, Lymox®	1	--	2
Titanium	WL15, WC20, WT20, Lymox®	1	--	2

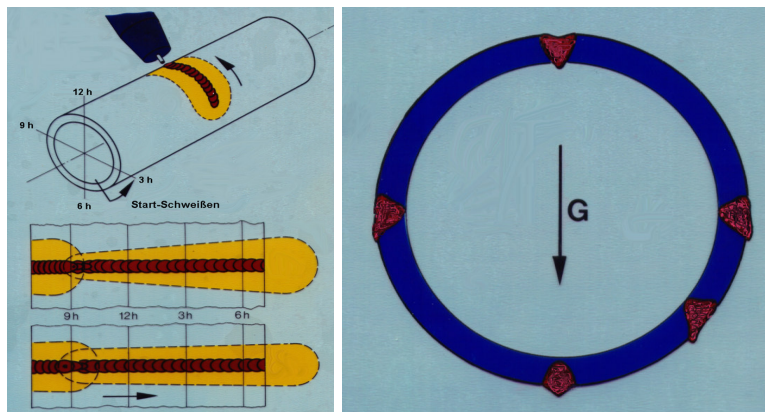
Dijagram 1. Utjecaj udaljenosti netaljive volfram elektrode od radnog komada na penetraciju (dužine električnog luka)

penetracija (%)



9. IZBOR PARAMETARA ZA ZAVARIVANJE

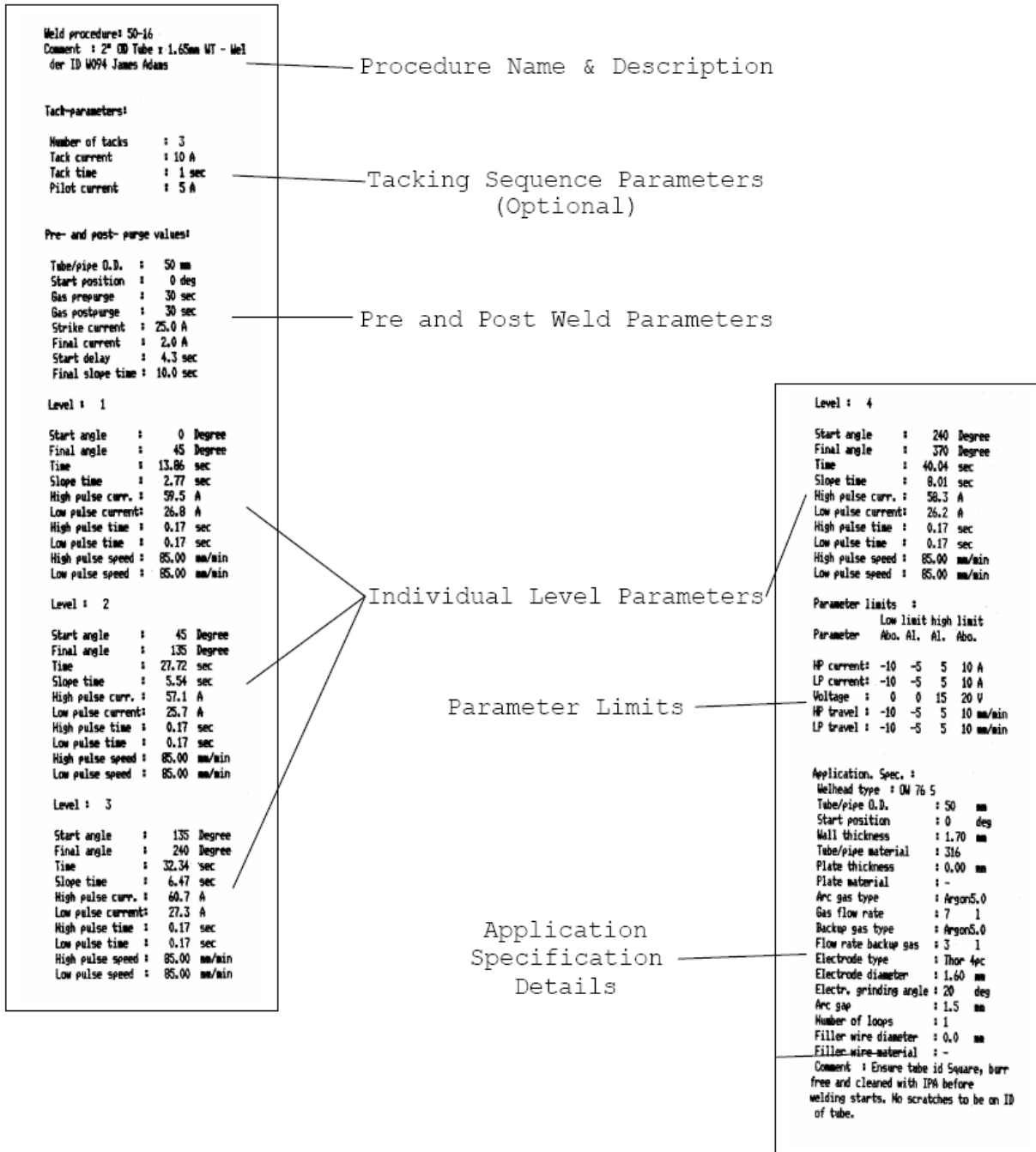
Prilikom procesa zavarivanja cijevi jedan izuzetno bitan faktor koji moramo imati u vidu je progresivno zagrijavanje cijevi u području zone zavarenog spoja. To područje se zagrijava progresivno i akumulira energiju od električnog luka za vrijeme rotacije električnog luka oko cijevi (slika br. 13).



Slika 13. Utjecaj zagrijavanja područja zavarenog spoja i gravitacije na talinu metala zavara

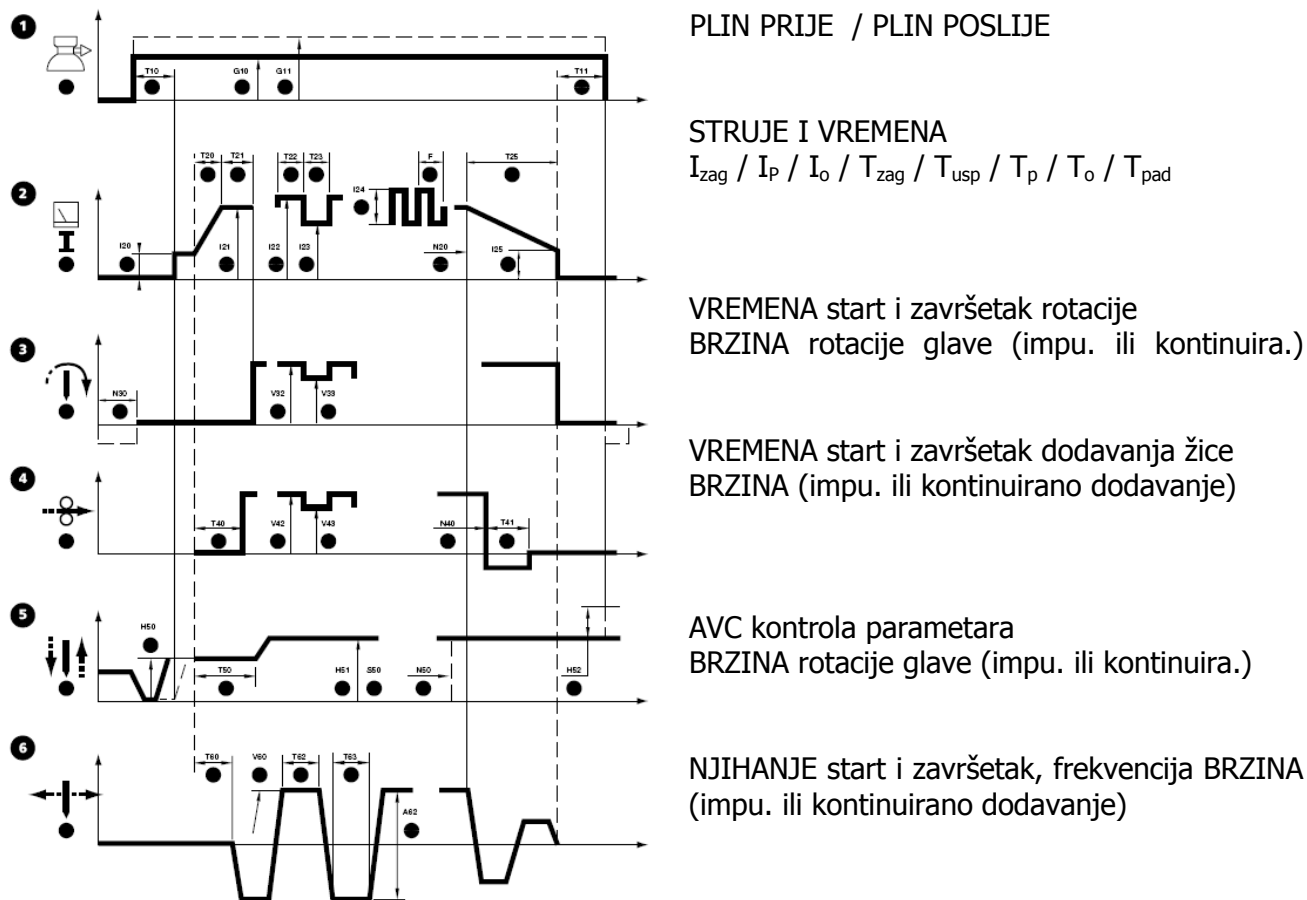
Ukoliko se unos energije ne smanjuje tijekom procesa zavarivanja i nastanka zavarenog spoja, volumen taline metala zavara će kontinuirano rasti, a metalurške promjene bit će neizbježne. U svim pozicijama (9, 12, 3 i 6 sati i između) balans taline metala zavara je važan, odnosno važno je kontrolirano održavanje ravnoteže između sile gravitacije i sile površinske napetosti taline metala zavara s ciljem ostvarivanja jednolike visine korijena zavarenog spoja i geometrije lica zavarenog spoja.

Ova se ravnoteža i kontrola veličine taline metala zavara može uspješno riješiti preko odgovarajućih parametara zavarivanja i to: vrijednostima impulsne struje, frekvenciji impulsa, brzini zavarivanja na način da se za svako kritično područje radi zaseban podprogram odnosno parametri za tzv. sektore npr. od 9 do 12 sati, od 12 do 3 sata od 3 do 6 sati i konačno od 6 do 12 sati (slika 14). Smanjivanje unosa energije uobičajeno se ostvaruje preko vrijednosti impulsne i osnovne struje, ali i preko brzine zavarivanja za određene sektore.



Slika 14. Primjer parametara zavarivanja za cijev \varnothing 50 x1,6 mm, materijal W.Nr. 1.4401

Uobičajeni parametri zavarivanja koji se programski određuju su: plin prije i poslije, struja paljenja, struja zagrijavanja, impulsna i osnovna struja, brzina zavarivanja, brzina i način dodavanja dodatnog materijala, vrijednost AVC kontrole, parametri njihanja, te sva pripadajuća vremena. Vidi sliku br 15.



Slika 15. Dijagramski prikaz parametara zavarivanja za orbitalno zavarivanje TIG postupkom

10. ZAKLJUČAK

Bitna je činjenica da kroz korištenje sistema za orbitalno zavarivanje možemo lako postići sposobnost izrade zavarenih spojeva visoke kvalitete uz besprijekornu ponovljivost te kvalitete. Ona se može postići samo ako poštujemo sva pravila ZAVARIVANJA NEHRĐAJUĆIH ČELIKA i održavamo konstantnima sve ulazne parametre. Pravila korištenja orbitalne opreme za zavarivanje i način rada nikada se ne smiju kršiti, mjenjati ili oblikovati po volji tijekom rada. Takvim načinom rada neće se postići željeni rezultati, a oprema za orbitalno zavarivanje bit će potpuno nesvršishodna.

Ukratko, više je razloga za uporabu opreme za orbitalno zavarivanje:

1. Produktivnost
2. Kvaliteta i ponovljivost
4. Ulaganje u nivo zavarivačkih znanja i vještina
5. Fleksibilnost

Literatura: Prospekti materijali Orbimatic, Kemppi, Liburdi Dimametric, Polysoude