

## PRIMJENA TIG POSTUPKA ZAVARIVANJA U SPAJANJU POZICIJA

### THE APPLICATION OF THE TIG WELDING PROCESS IN THE MERGING POSITIONS

*Ivan Samardžić, Dean Bogovac, Tomislav Jorgić, Kristijan Kovačić*

Stručni članak

**Sažetak:** Napretkom tehnologija i pojeftinjenjem izrade elektroničkih komponenti danas je cijena uređaja za zavarivanje pristupačna tako da su TIG uređaji za zavarivanje našli široku primjenu i dostupniji su nego prije. Pojeftinjenjem uređaja TIG postupak zavarivanja često se primjenjuje kod zavarivanja korijenskog vara gdje je potrebna visoka kvaliteta zavara. Primjenjuje su u prehrambenoj industriji gdje su bitna čistoća i izgled zavara iz sanitarnih razloga. U avio-industriji TIG postupak zavarivanja ima veliku ulogu zbog kvalitete zavara i mogućnosti zavarivanja posebnih materijala koji su teško zavarljivi. TIG postupak zavarivanja zahtjeva kvalificiranog zavarivača jer je zahtjevniji od ostalih postupaka zavarivanja.

**Cljučne riječi:** položaji zavarivanja, Volframova elektroda, TIG postupak zavarivanja

Professional paper

**Abstract:** Advances in technology and cheaper production of electronic components today's prices of welding machines make them accessible and widely used and more available than before. Price cuts on TIG welding machines makes process often in use. Especially welding the root weld where a high quality weld is required. TIG welding machines are applied in the food industry where is important cleanliness and appearance of welds for sanitary reasons. In the aviation industry TIG welding plays a major role because of the quality of welds. TIG welding requires special skilled welders because it is more demanding than other welding methods.

**Key words:** welding positions, tungsten electrodes, TIG welding process

## 1. UVOD

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, s ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogen zavareni spoj.

Zavarivanje je neizostavna tehnika spajanja materijala koji su u eksploataciji izloženi vrlo visokim ili vrlo niskim temperaturama, agresivnim medijima, udarnom i dinamičkom opterećenju, te različitim kombiniranim opterećenjima. U nekim situacijama zavarivanje se nameće kao naj-tehnolojnije rješenje (spajanja uz postizanje zahtijevane kvalitete spoja i uz najniže troškove spajanja). Zavarene spojeve susrećemo svugdje oko sebe, a danas se u praksi primjenjuje nekoliko stotina različitih postupaka zavarivanja koji su prilagođeni za određenu vrstu zavarenih konstrukcija ili proizvoda. Mnogi postupci zavarivanja su automatizirani i/ili robotizirani. Najveći broj robota koristi se upravo za zavarivanje (roboti za elektrootporno točkasto zavarivanje, roboti za MAG zavarivanje u automobilskoj industriji, roboti za zavarivanje TIG postupkom elemenata od nehrđajućeg čelika i.t.d.). [1]

## 1.1. Razvoj zavarivanja kroz povijest

Prvi tragovi izdvajanja željeza iz ruda datiraju oko 2 500 g. p.K., a do šire primjene dolazi kasnije. Željezno doba odnosno željezni predmeti se počinju nalaziti oko 1 500 g.p.K., a prvi zapisi (Herodot) o kovačkom zavarivanju željeza u staroj Grčkoj govore da je zavarivanje korišteno u VI st. p.K., za izradu postolja posuda. Dobivanje čelika počinje oko 1 000 g.p.K. u Indiji. Zavarivanje se razvijalo kao sastavni dio vještina kovača, zlatara i ljevača pri izradi oruđa za rad, oružja, posuda, nakita i građevina (ograda, vrata, mostovi, okovi, rešetke na prozorima,...).

1936. Počela je primjena zavarivanja u zaštitnoj atmosferi He -TIG postupak .

Pred, a posebno poslije drugog svjetskog rata, počinje razvoj i primjena zavarivanja u zaštitnim plinovima TIG (arc-atom s vodikom, te argonarc s argonom ili helijem kao zaštitnim plinom).

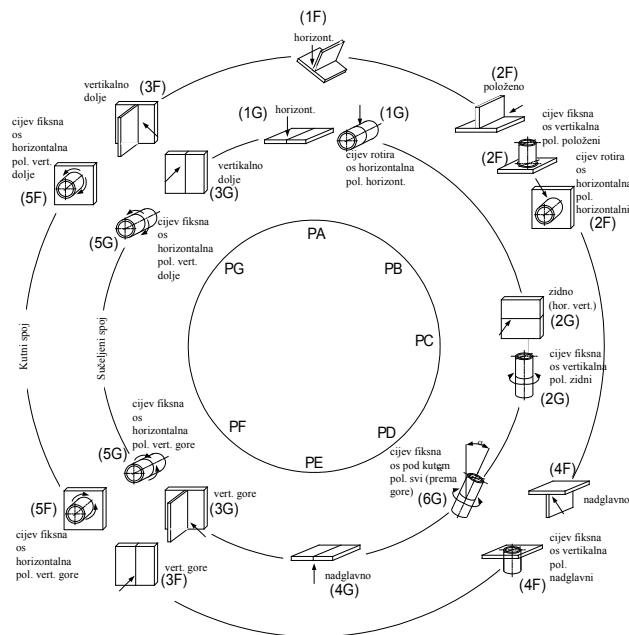
1930.g.-Hobart i Devers-zavarivanje u komori ispunjenoj inertnim plinom.

1941.g.-Meredith i Pavlecka-prvi TIG gorionik. 1942.g. HeliArc welding-zavarivanje Mg legura u zrakoplovnoj industriji. [1]

## 2. UVOD U ZAVARIVANJE (TERMINI, POLOŽAJI, PRIPREMA MATERIJALA)

### 2.1. Termin i definicije vezano uz zavarivanje

- **Zavarivač** je osposobljen i provjeren radnik za određeni opseg zavarivačkih radova: postupak, materijali (OM, DM), položaj zavarivanja, geometrijske oblike radnog predmeta, (uvjete zavarivanja, npr. Arktik, svemir, ...).
- **Zavareni spoj** je cjelina ostvorena zavarivanjem, koja obuhvaća dodirne dijelove zavarenih komada, a karakterizirana je međusobnim položajem zavarenih dijelova i oblikom njihovih zavarenih krajeva.
- **Zavarljivost** je sposobnost materijala, da se pri određenim povoljnim uvjetima zavarivanja ostvari kontinuirani zavareni spoj, koji će svojstvima udovoljiti predviđenim uvjetima i vijeku eksploatacije.
- **Zona taljenja** - ZT (zavar, navar, šav) je dio površine poprečnog presjeka zavarenog spoja koji je bio rastaljen. Sastoji se najčešće od mješavine OM i DM, ali ponekad samo od DM (lemljenje) ili samo od OM (zavarivanje bez DM).
- **Zona utjecaja topline** - ZUT (prelazna zona) je onaj dio OM (uz ZT) koji se nije rastalio, ali čija su se mikrostruktura i svojstva izmijenili pod utjecajem topline zavarivanja (lemljenja ili toplinskog rezanja).
- **Predgrijavanje.** Zagrijavanje neposredno prije zavarivanja u zoni OM gdje će se zavarivati, lemiti ili toplinski rezati. Potrebno je propisati minimalnu potrebnu temperaturu predgrijavanja  $T_o$  s tolerancijama ( $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ). Temperatura predgrijavanja se najčešće mora održavati sve do završetka zavarivanja.
- **Metalna kupka** je volumen rastaljenog metala u trenutku zavarivanja.
- **Prolaz** je deposit (rastaljeni metal) ostvaren u jednom prolazu elektrodom kod ručnog zavarivanja ili automatom kod automatskog zavarivanja.
- **Sloj** se sastoji od više paralelnih prolaza.



**Slika 1.** Osnovni položaji zavarivanja prema ASME (eng. ASME - the AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS) sekciji IX i HRN EN 287 [5]

**Tablica 1.** Objašnjenje kratica osnovnih položaja zavarivanja

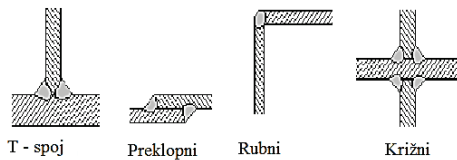
PA	vodoravni položaj
PB	horizontalno - vertikalni položaj
PC	horizontalni položaj
PD	cijev fiksna, pod kutom, svi položaji, prema gore
PE	naglavni položaj
PF	cijev fiksna, os vodoravna, prema gore
PG	vertikalna, prema dolje
G	zavar u žlijebu (eng. Groove weld)
F	kutni spoj (eng. Fillet weld)

### 2.2. Položaji zavarivanja

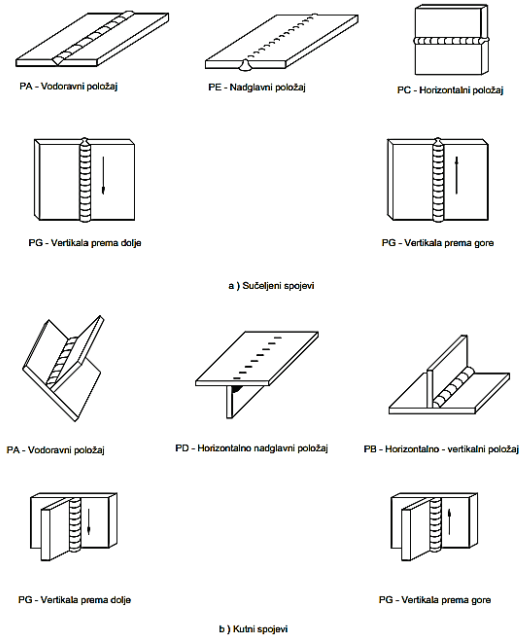
U osnovi, četiri su osnovna položaja zavarivanja: horizontalni ili položeni, zidni ili horizontalno - vertikalni, vertikalni i naglavni. Najpovoljnije je zavarivanje u horizontalnom položaju jer je brzina zavarivanja najveća, najlakše je zavarivanje u tom položaju i manja je vjerojatnost nastajanja grešaka u odnosu na ostale položaje zavarivanja. [1]

### 2.3. Tipovi zavarenih spojeva i pripreme žljebova za zavarivanje

Najčešći oblici zavarenih spojeva su kutni spojevi i sučeljni ili sučeljeni (slika 3. ). Kutni zavareni spojevi mogu biti izvedeni kao: T-spoj, preklopni, rubni i križni (slika 2). Rubni zavarenih spoj treba izbjegavati zbog koncentracije naprezanja, a kod križnog kutnog spoja dolazi do gomilanja zavara na jednom mjestu što također nije dobro



Slika 2. Varijante kutnih zavarenih spojeva [1]



Slika 3. Prikaz varijanti spojeva i nekih od položaja zavarivanja objašnjenih u tablici 1.



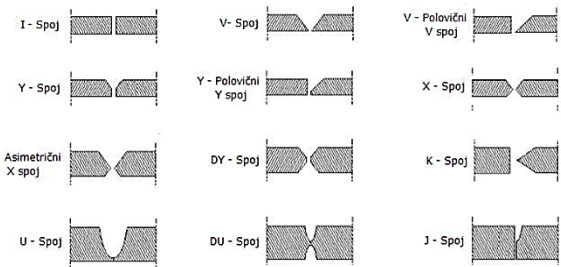
Slika 4. Prikaz vertikalnog zavarivanja T - spoja prema gore



Slika 5. Prikaz zavarenog vodoravnog preklapnog spoja

## 2.4. Priprema spoja za zavarivanje

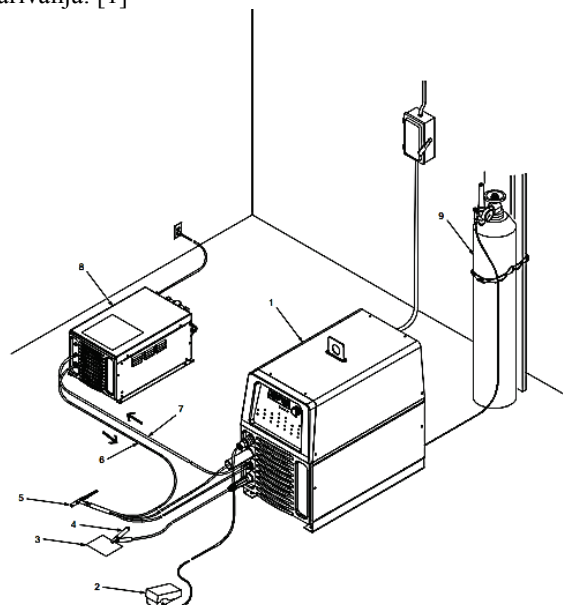
Priprema žlijeba zavarenog spoja može se izvoditi različitim postupcima rezanja ili mehaničkom obradom, pri čemu sredstvo, odnosno alat kojim se provodi postupak može biti vođen ručno ili mehanički, kod visokih tehničkih zahtjeva na pripremu stranice se strojno obrađuju ili se postupak robotizira. Izbor oblika zavarenog spoja za zavarivanje ovisi o nizu čimbenika, od kojih su najvažniji debljina i vrsta materijala, položaj i postupak zavarivanja, te vrsta spoja. Tri su osnovne skupine zavarenih spojeva: sučeljeni, kutni i naliježujući. Prikaz najčešće korištenih spojeva gdje se obrađuju kosine prije zavarivanja. [6]



Slika 6. Prikaz oblika obrade spojeva prije zavarivanja [6]

## 3. ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE NETALJIVOM ELEKTRODOM POD ZAŠTITOM PLINA (ENG. TIG-TUNGSTEN INERT GAS; GTAW-GAS TUNGSTEN ARC WELDING )

TIG postupak zavarivanja je postupak zavarivanja koji daje visoku kvalitetu zavarenog spoja što je najveća prednost ovog postupka zavarivanja. U usporedbi s ostalim postupcima zavarivanja ovaj je postupak relativno spor dok je izobrazba za TIG zavarivača i automatizacija kompleksnija u odnosu na ostale postupke zavarivanja. [1]



Slika 7. Prikaz TIG stroja [3]

**Tablica 2.** Dijelovi TIG stroja

1	izvor struje
2	nožna kontrola jakosti struje
3	radni komad
4	kliješta suprotnog pola
5	gorionik
6	crijevo rashladne tekućine
7	crijevo rashladne tekućine
8	sustav za kontrolu hlađenja
9	zaštitni plin

### 3.1. Princip rada

Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina (eng. Tungsten Inert Gas ) je postupak zavarivanja kod kojeg se električni luk stvara između netaljive (volframove) elektrode i materijala koji se zavaruje. Dodatni materijal 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. TIG postupak je precizan jer se elektroda ne troši tijekom zavarivanja a dodatni materijal se po potrebi dodaje u kupku rastaljenog materijala. [7]

### 3.2. 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.

Izvori struje za TIG zavarivanje mogu biti:

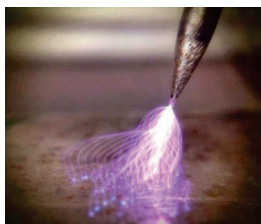
- za standardno TIG zavarivanje
- za impulsno TIG zavarivanje.

Prednosti impulsnog zavarivanja su :

- stabilniji električni luk (ako se dobro odrede parametri )
- precizna kontrola penetracije smanjenje veličine taline zavara smanjenje unosa topline u radni komad a time i smanjenje deformacija

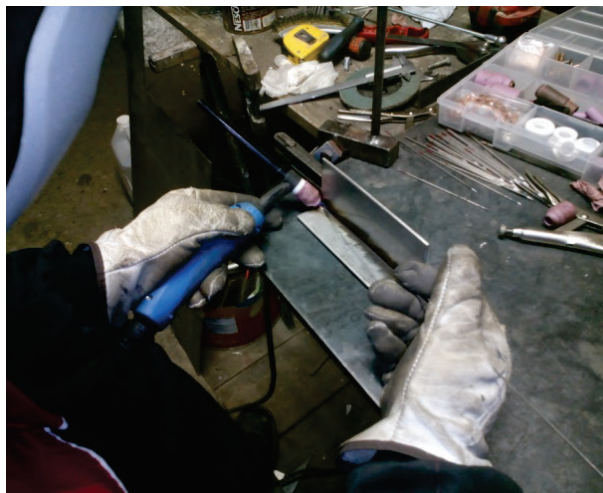
Uspostavljanje električnog luka:

- dodirivanjem volframove elektrode s radnim komadom tzv. "kresanje" (Koristi se kod starijih strojeva koji nemaju VF-generator, postoji mogućnost oštećivanja volframove elektrode i kontaminacija radnog komada).
- uz pomoć visokofrekventnog generatora (VF-generator)- koji služi za uspostavljanje električnog luka (slika 8.) bez dodira volframove elektrode sa radnim komadom. [7]



**Slika 8.** Uspostavljanje električnog luka uz pomoć VF-generatora [8]

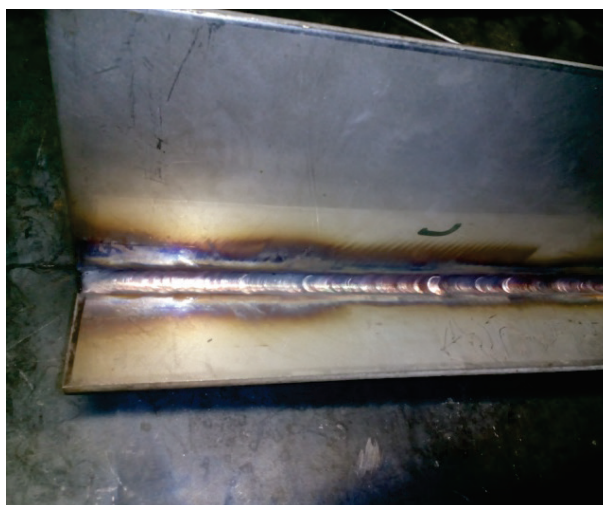
Nakon uspostavljanja električnog luka između netaljive volframove elektrode i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje, proces zavarivanja se odvija s ili bez dodavanja dodatnog materijala (žice) u električni luk (slika 9.). Nakon toga slijedi zavarivanje i formiranje zavarenog spoja. [1]



**Slika 9.** Početak procesa zavarivanja



**Slika 10.** Proces zavarivanja u tijeku



**Slika 11.** Izgled zavara vodoravnog T- spoja



### 3.3. Vrste električne struje u primjeni sa izvorima za TIG zavarivanje:

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

### 3.4. Gorionici za TIG zavarivanje

Osnovna podjela gorionika:

- Zrakom hlađeni gorionici za ručno zavarivanje - koriste se za manje jakosti struje i manju interminenciju (najčešće do 200A).
- Vodom hlađeni gorionici za ručno zavarivanje - koriste se za veće jakosti struje i veću interminenciju (uglavnom od 200 do 600A).
- Vodom hlađeni gorionici za strojno(automatsko) zavarivanje.

Najčešći dijelovi gorionika su ( Slika 12. ):

- držač za ruku (na/u njemu se nalaze: prekidač, provodnici plina, rashladnog sredstva). (Slika 12.: br. 13)
- vodilica volfram elektrode(Slika 12. br. 5,9)
- raspršivač plina (Slika 12. br. 6, 10)
- kapa gorionika (Slika 12. br. 1, 2, 3)
- keramička sapnica za plin (Slika 12. br. 7, 8, 11, 12)
- volfram elektroda ( slika 12. br. 4 )



Slika 12. Dijelovi TIG gorionika

### 3.5. Volframova elektroda

Volframova elektroda služi kao provodnik električne struje sa polikabela na radni komad. Talište volframa je na 3422°C

Elektrode se izrađuju iz:

- čistog volframa
- volfram sa dodacima torijeve oksida ( $\text{ThO}_2$ )
- volfram sa dodacima cirkonijeva oksida ( $\text{Zr O}_2$ )
- volfram sa dodacima lantanova oksida ( $\text{La O}_2$ )
- volfram sa dodacima cerijeva oksida ( $\text{Ce O}_2$ )

Tablica 3. Označavanje volframovih elektroda

Oznaka (ISO)	Dodatak oksida (%)	Tip oksida	Boja
W	--	--	Zelena
WC20	1,8-2,2	$\text{CeO}_2$	Siva
WL10	0,9-1,2	$\text{La}_2 \text{O}_3$	Crna
WL15	1,4-1,6	$\text{La}_2 \text{O}_3$	Zlatna
WL20	1,9-2,1	$\text{La}_2 \text{O}_3$	Plava
WZ8	0,7-0,9	$\text{Zr O}_2$	Bijela
WT10	0,8-1,2	$\text{ThO}_2$	Žuta
WT20	1,7-2,2	$\text{ThO}_2$	Crvena
WT30	2,8-3,2	$\text{ThO}_2$	Ljubičasta
WT40	3,8-4,2	$\text{ThO}_2$	Narandžasta

Brušenje volframovih elektroda:

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



Slika 13. Pravilno i nepravilno brušenje volframove elektrode

### 3.6. Primjena TIG postupka kod zavarivanja različitih vrsta materijala

TIG postupak se također široko primjenjuje: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja aluminijskih legura i drugih nehrđajućih materijala i legura. On se uglavnom uspoređuje sa MIG i plazma postupkom zavarivanja. Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine do debljine 6 mm. TIG postupak je izvorno ručni postupak. Koristi se i kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja, ali je primjena tih uređaja kompleksnija i skuplja. [1]

**Prednosti:**

- kvaliteta zavarenog spoja vrlo visoka (kako u pogledu broja grešaka u zavarenom spoju, tako i sa stajališta estetskog izgleda i mehaničkih svojstava zavara),
- pogodan za reparaturna zavarivanja,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- primjenjiv je za sve metale i oblike radnog komada [1].

**Nedostaci:**

- viša cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MIG postupak zavarivanja,
- kvaliteta zavara uvelike ovisi o vještini zavarivača ,
- manje pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je dugo

- manja učinkovitost (kg depozita/h) u odnosu na MIG i plazma zavarivanje, neekonomičan za zavarivanje materijala veće debljine od 6 mm,
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, potrebna dobra ventilacija prostora,
- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...),
- visoka cijena zaštitnog plina i otežan rad na otvorenome,
- visoki zahtjevi s obzirom na kvalitetu obrade i čistoću u pripremi spoja. [1]

### 3.7. TIG postupak zavarivanja konstrukcijskih čelika

Zavari konstrukcijskih čelika TIG postupkom mogu se izvesti jako kvalitetno. Zbog sporosti postupka koristi se uglavnom zavarivanje tankih limova i cijevi za zavarivanje korijenskog prolaza na debljim materijalima (Slika 14.)



Slika 14. Čelična cijev zavarena TIG postupkom

Koriste se torirne voframove 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 se prenosi na pozitivni pol (radni komad) dok se jedna trećina topline razvija na minus polu (elektrodi). Elektroda na plus polu bi se pregrijavala.

Priprema spoja: -I do 4 mm bez zračnosti, -V od 4-10 mm (sa zračnošću između ivica). Pripremljeni spoj bez nečistoća i masnoća

Položaj gorionika bi trebao biti oko 45° u odnosu na radni komad, a materijala za dodavanje oko 15° u odnosu na radni komad ( Slika 15. ).



Slika 15. Položaj gorionika i materijala za dodavanje u odnosu na radni komad

Kod zavarivanja cijevi od nehrđajućeg čelika potrebno je zaštititi korijen zvara zaštitnim plinom (argonom i sl.). Zaštita korijenskog zvara izvodi se pomoću specijalnih naprava koje osiguravaju zaštitnu atmosferu bez kisika (odnosno s malim promilima kisika) ( Slika 16. )



Slika 16. Naprava kućne izrade za zaštitu korijenskog zvara kod zavarivanja cijevi



Slika 17. Prikaz pripremljene cijevi za početak zavarivanja s napravom za zaštitu korijenskog zvara



Slika 18. Unutrašnjost cijevi zavarena korištenjem naprave za zaštitu korijenskog zvara



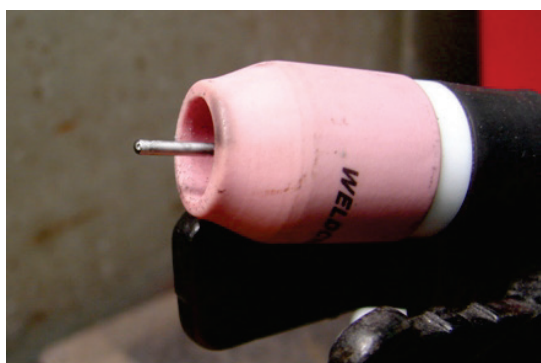
### 3.8. TIG postupak zavarivanja aluminija i njegovih legura

- kod zavarivanja aluminija najveći problem je njegova sklonost oksidaciji odnosno stvaranju aluminijeva oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) na površini aluminija koji se nakon čišćenja brzo ponovno stvara te ometa spajanje taline osnovnog i dodatnog materijala.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ima visoku točku tališta ( $2050^\circ\text{C}$ ) za razliku od legura aluminija ( $520\text{-}660^\circ\text{C}$ ) te veću specifičnu težinu pa se teško tali i lako uključuje u talinu zavara
- primjenjuje se AC struja za zavarivanje koja najuspješnije razara površinski sloj oksida ( + pol razbija kožicu, a - pol hladi elektrodu ). Na slici 19. se može vidjeti sloj razbijenog oksida uz zavar.



Slika 19. Prikaz sloja razbijenog oksida uz zavar [11]

- Volframova elektroda mora imati zaobljen vrh (Slika 20. ) i koristi se cirkonirana elektroda ili čisti volfram (ne preporuča se), a najbolje rezultate daje 2% latanova oksida jer daje najstabilniji električni luk



Slika 20. Prikaz oblika vrha volframove elektrode za zavarivanje aluminija [10]

## 4. ZAKLJUČAK

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

robotiziranom proizvodnjom cijene opreme su sve pristupačnije i može se primijetiti sve veća upotreba TIG postupka zavarivanja.

Svugdje gdje postoje zahtjevi za visokom kvalitetom spoja, estetikom zavara ili gdje su potrebna specijalna zavarivanja TIG postupak ima dobru i opravdanu prednost ( npr. prehrambena industrija - cjevovodi ).

## 5. LITERATURA

- [1] Samardžić, I.: Proizvodne tehnologije - Nastavni materijali, Visoka tehnička škola u Bjelovaru, 2014.
- [2] Kralj, S.; Andrić, Š.: –Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Sveučilišna skripta, Zagreb. 1992.
- [3] <http://www.millerwelds.com/pdf/gtawbook.pdf> (Dostupno: 05.07.2014.)
- [4] [http://www.wilhelmsen.com/services/maritime/companies/buss/DocLit/ProductLiterature/Documents/Welding\\_Handbook.pdf](http://www.wilhelmsen.com/services/maritime/companies/buss/DocLit/ProductLiterature/Documents/Welding_Handbook.pdf) (Dostupno: 05.07.2014.)
- [5] [https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/vr\\_spo.pdf](https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/vr_spo.pdf) (Dostupno: 05.07.2014.)
- [6] <http://www.metalvar.hr/sites/default/files/Novosti/Priprema%20krajeva%20limova%20i%20cijevi.pdf> (Dostupno: 05.07.2014.)
- [7] Crnalić, N.: Zavarivanje u zaštiti inertnog plina netaljivom elektrodom (TIG)- 2. Seminar -Izbor optimalnog postupka zavarivanja, Pula, Prosinac, 2005.
- [8] <http://media-cache-ak0.pinimg.com/736x/31/6b/d7/316bd75500b64574e5b722ba010748f6.jpg> (Dostupno: 05.07.2014.)
- [9] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQf0UxAmOTJfmoAiDggiftkibuvp4UTd1vMk39lIFbCmalP0VTV> (Dostupno: 05.07.2014.)
- [10] <http://www.weldingtipsandtricks.com/images/tig-welding-aluminum-electrode.JPG> (Dostupno: 05.07.2014.)
- [11] [https://fbcdn-sphotos-g-a.akamaihd.net/hphotos-ak-xap1/t1.0-9/1526960\\_669633109747329\\_1576943785\\_n.jpg](https://fbcdn-sphotos-g-a.akamaihd.net/hphotos-ak-xap1/t1.0-9/1526960_669633109747329_1576943785_n.jpg) (Dostupno: 05.07.2014.)

### Kontakt autora:

Visoka tehnička škola u Bjelovaru  
Trg Eugena Kvaternika 4, Bjelovar

**Ivan Samardžić, Prof.dr.sc.**  
E-mail: Ivan.Samardzic@sfsb.hr

**Dean Bogovac** (student)  
E-mail: dean1389@gmail.com

**Tomislav Jorgić** (student)  
E-mail: tomislavjorgic20@gmail.com

**Kristijan Kovačić** (student)  
E-mail: kristijan.kovacic@hotmail.com