

# TEORIJSKE I PRAKTIČNE OSNOVE TIG POSTUPKA ZAVARIVANJA

## SOME THEORETICAL AND PRACTICAL BASIS OF GTAW WELDING PROCESS

*Marko Horvat, Veljko Kondić, Dražen Brezovečki*

Stručni članak

**Sažetak:** TIG/GTAW postupak zavarivanja je elektrolučni postupak zavarivanja netaljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnih plinova ili smjesa plinova. U radu je prikazana kratka povijest i teorijske osnove postupka, prednosti i nedostaci te osvrtno na praktične osnove primjene postupka.

**Cljučne riječi:** TIG postupak zavarivanja, teorijske i praktične osnove

Professional paper

**Abstract:** TIG/GTAW welding is a process, which uses a non-consumable solid tungsten electrode protected from the atmosphere by an inert gas shield or gas mixture. This paper presents a brief history and theoretical basis of the TIG/GTAW welding process, some advantages and disadvantages of process, and review of the practical application.

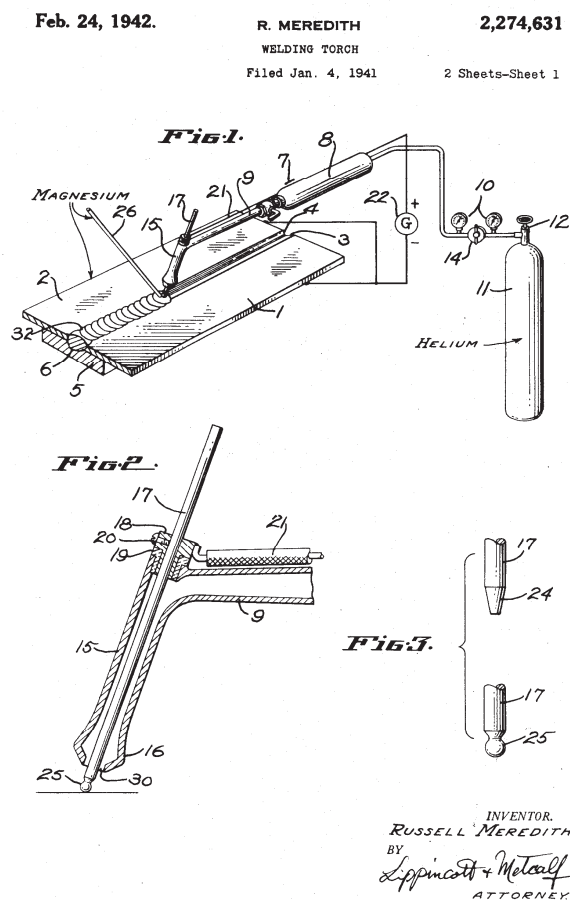
**Key words:** GTAW welding process, theoretical and practical basis

### 1. UVOD

TIG postupak zavarivanja je elektrolučni postupak zavarivanja netaljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina (Ar, He) ili rjeđe smjesi plinova. Skraćenica imena postupka dolazi od punog naziva "Tungsten Inert Gas", a često se naziva i WIG (Wolfram Inert Gas) ili GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). [1, 2,3]

Prema izvoru [4, 5] početak razvoja TIG postupka povezuje se sa početkom II. svjetskog rata (1941/1942. godina) i razvijem istog u svrhu zamjene plinskog zavarivanja u avionskoj industriji (zavarivanje legura na bazi magnezija). Russell Meredith koji je radio za Northrup Aircraft patentirao je postupak pod imenom "Heli-Arc Welding" što se smatra pretečom današnjeg TIG/GTAW postupka zavarivanja. Razvoj ovog postupka zavarivanja nastavljen je u tvrtci Linde koja je otkupila patent i to prvenstveno zbog upotrebe inertnih plinova u postupku, a razvoj je nastavljen kroz konstrukciju i primjenu različitih tipova gorionika, sapnica i proučavanja strujanja zaštitnog plina. Komercijalna primjena TIG postupka zavarivanja započela je u 50-tim godinama prošlog stoljeća.

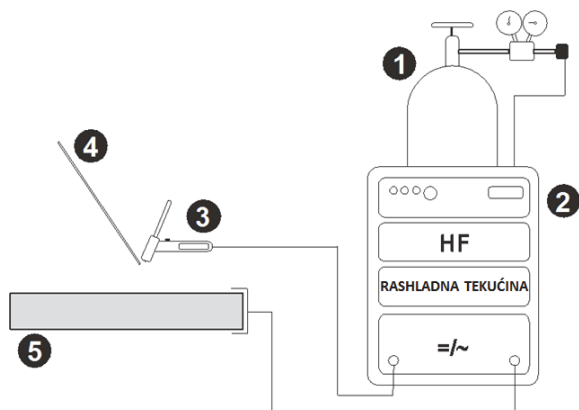
Danas ovaj postupak, uz vrlo male konstrukcijske promjene, ali zbog značajnih prednosti ili primjeni modificiranih izvedbi (omogućenih kroz razvoj izvora struje za zavarivanje) predstavlja značajan elektrolučni postupak zavarivanja primjenjiv na širokom spektru materijala (čelici, plemeniti čelici, teški i laki obojeni metali itd.) u ručnoj, polu-automatiziranoj ili automatiziranoj primjeni.



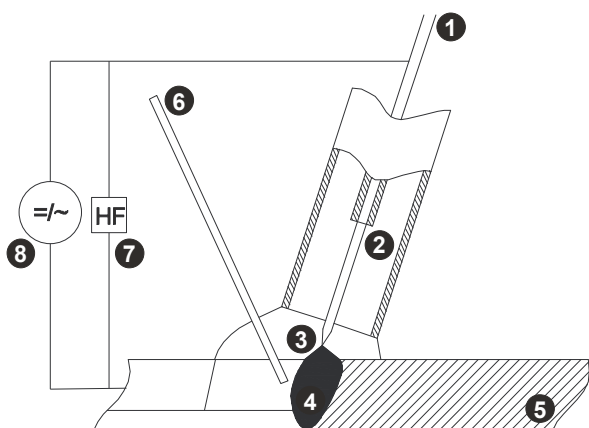
Slika 1. Patent gorionika za Heli-Arc postupak Russella Mereditha iz 1942. godine [6]

## 2. TIG POSTUPAK ZAVARIVANJA, PREDNOSTI I NEDOSTACI

Kod TIG postupka zavarivanja električni luk uspostavlja se između netaljive volframove elektrode i osnovnog materijala. Zona utjecaja topline, rastopljeni osnovni materijal i volframova elektroda zaštićeni su atmosferom inertnog plina. Proces zavarivanja izvodi se s dodatnim materijalom ili bez njega (pretaljivanje). Shematski prikaz TIG procesa zavarivanja prikazan je slikom 2 i 3. [1, 2, 3, 7]



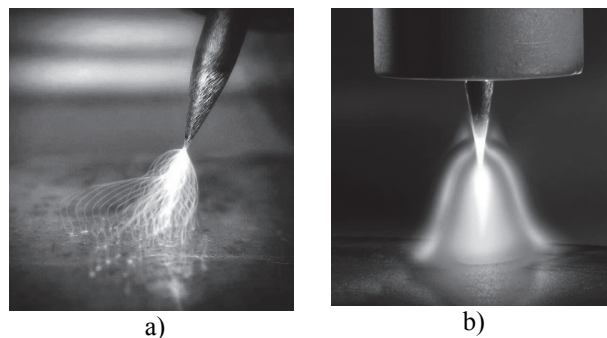
**Slika 2.** Shematski prikaz standardne opreme za TIG zavarivanje: 1 – zaštitni plin, 2 – izvor struje za zavarivanje, 3 – gorionik, 4 – dodatni materijal, 5 – osnovni materijal; prema [1, 3]



**Slika 3.** Shematski prikaz procesa TIG zavarivanja: 1 – netaljiva elektroda, 2 – sapnica gorionika, 3 – električni luk, 4 – rastaljeni materijal, 5 – osnovni materijal, 6 – dodatni materijal, 7 – visokofrekventni generator, 8 – izvor struje; prema [1, 3]

Netaljiva elektroda služi isključivo za uspostavu električnog luka, a njezino trošenje rezultat je termičkih opterećenja ili mehaničkih oštećenja. Također, netaljiva elektroda svojom geometrijom utječe na karakteristiku električnog luka.

Električni luk, slika 4, uspostavlja se kontaktno (neposredno ili posredno) ili preko visokofrekventnog generatora, sklopa integriranog zajedno sa upravljanjem i izvorom struje za zavarivanje.



**Slika 4.** a) Uspostava električnog luka visokofrekventnim generatorom [8]; b) Električni luk [9]

Električni luk kod ovog postupka zavarivanja sastoji se od tri područja: katodnog, anodnog i područja stupa električnog luka. Anodno područje (područje plus pola) i katodno područje (područje minus pola) malih su duljina, a sastoje se od oblaka iona koji udaraju u anodu tj. katodu te oslobađaju određenu količinu energije (topline). Područje stupa električnog luka, tj. njegova duljina ovisi o naponu električnog luka, a najčešće odgovara promjeru netaljive elektrode. Kako je po definiciji prema izvoru [1] električni luk intenzivno izbijanje u smjesi plinova i para, slijedi da je glavni nosilac ionizacije kod ovog postupka zavarivanja upravo zaštitni plin, a o njemu ovisi također i uspostava i stabilnost luka. Temperature koje se razvijaju kod TIG postupka zavarivanja funkcija su osnovnih parametara zavarivanja, vrsti zaštitnog plina te vrsti osnovnog materijala, a u samoj osi plazme električnog luka mogu dosežati preko 20 000 °C. [1, 7, 10, 11]

Osnovne prednosti TIG postupka su:

- koncentriranost električnog luka, smanjeni ZUT
- nema prskanja, nema troske
- minimalna količina štetnih plinova
- zavarivanje širokog spektra metala i njihovih legura
- mogućnost zavarivanja raznorodnih materijala
- mogućnost izvođenja zavarivanja u svim položajima
- mogućnost zavarivanja pozicija male debljine
- pogodno za izvođenje reparaturnih radova
- pravilno izveden zavareni spoj spada u najkvalitetnije zavarene spojeve izvedene elektrolučnim postupkom
- odličan izgled zavarenog spoja.

Osnovni nedostaci TIG postupka su:

- mala brzina zavarivanja
- mali depozit dodatnog materijala
- neekonomičnost u zavarivanju debljih pozicija (iznad 6mm)
- zahtjeva se precizna priprema zavarenog spoja
- viša cijena opreme za zavarivanje i zaštitnih plinova
- zahtjevnost izvođenja ručnog TIG zavarivanja, duža izobrazba zavarivača
- otežanost izvođenja zavarivanja na otvorenim prostorima
- potreba za prisilnom ventilacijom zraka kod izvođenja zavarivanja u skućenim prostorima
- pojačana svijetlost i UV zračenje.

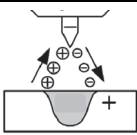
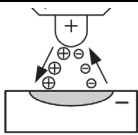
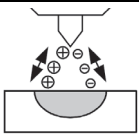
### 3. NAJVAŽNIJI UTJECAJNI FAKTORI KOD TIG ZAVARIVANJA

#### 3.1. Vrsta struje, polaritet elektrode

O primijenjenoj vrsti struje zavarivanja te polaritetu elektrode ovisi raspodjela topline u električnom luku (raspodjela topline između netaljive elektrode i radnog komada). Slijedom toga moguća su tri slučaja, tablica 1:

1. Istosmjerna struja – elektroda na "-" polu (DCEN)
2. Istosmjerna struja – elektroda na "+" polu (DCEP)
3. Izmjenična struja (AC) [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13]

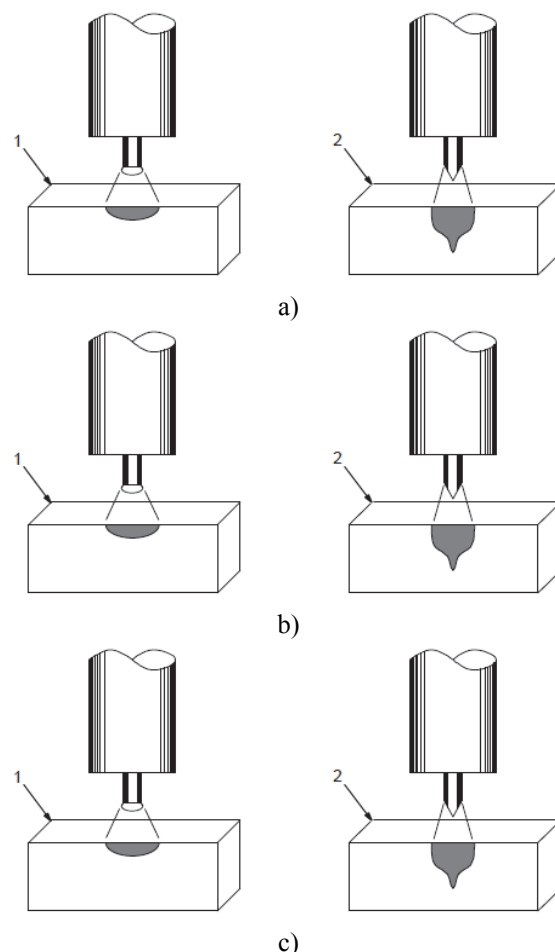
**Tabela 1.** Primjeri karakteristika TIG zavarivanja ovisno o vrsti struje i polaritetu, prema [13, 14]

Vrsta struje	DC	DC	AC
Polaritet	-	+	
			
Čišćenje oksida	NE	DA	DA (pola ciklusa)
Raspodjela topline	1/3 na elektrodi 2/3 na materijalu	2/3 na elektrodi 1/3 na materijalu	1/2 na elektrodi 1/2 na materijalu
Penetracija	uska, duboka	plitka, široka	srednje široka srednje duboka
Kapacitet elektrode	odličan npr: Ø3,2/400A	loš npr: Ø6,4/120A	dobar npr: Ø3,2/255A

Zavarivanje TIG postupkom istosmjernom strujom s elektrodom na negativnom polu (istosmjerna struja je vrsta električne struje gdje ne dolazi do promjene smjera toka elektrona u jedinici vremena) je najčešća kombinacija struje/polariteta kod primjene TIG postupka (DCEN – Direct Current Electrode Negative). Elektroni se kreću s negativne elektrode na pozitivni osnovni materijal, ubrzavajući kroz električni luk, a pozitivni elektroni imaju suprotan smjer. Pri tome, količina kinetičke energije elektrona značajno je veća od one iona pa dolazi do većeg zagrijavanja radnog komada, a manjeg vrha elektrode (približni odnos toplinskog opterećenja: 1/3 na elektrodi, 2/3 na radnom komadu). Zbog toga ovaj način TIG zavarivanja omogućuje rad sa manjim promjerima elektroda tj. rad s velikim strujama, a vrh elektrode može biti zašiljen što daje stabilnost električnom luku. Ovaj način zavarivanja daje dobru penetraciju. [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13]

Kod zavarivanja TIG postupkom istosmjernom strujom gdje je elektroda na pozitivnom polu (DCEP - Direct Current Electrode Positive) smjer elektrona je suprotan pa je time i raspodjela topline drugačija – dolazi do velikog toplinskog opterećenja elektrode. Stoga, ovaj način zavarivanja je moguć kod manjih struja zavarivanja uz primjenu netaljivih elektroda većeg promjera. Također, u odnosu na prethodni slučaj, penetracija je manja, a zaobljenost vrha elektrode može rezultirati nestabilnošću električnog luka. Ipak, smjer pozitivnih iona (s elektrode na radni komad) rezultira razaranjem tankih površinskih oksida s površine osnovnog materijala što omogućuje zavarivanje aluminija, magnezija i njihovih legura. [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13]

Zavarivanje TIG postupkom izmjeničnom strujom (AC – alternating current - izmjenična struja je vrsta električne struje gdje dolazi do promjene smjera toka elektrona u jedinici vremena) je način TIG zavarivanja gdje se uz mogućnost dobrog čišćenja oksida s površine osnovnog materijala dobiva i dobra penetracija, a termičko opterećenje je približno podjednako na elektrodi i radnom komadu (iako ovisi o balansu izmjenične struje). Pri tome, dolazi do mijenjanja pravca kretanja čestica (ovisno o frekvenciji struje), a time i do "gašenja i paljenja" luka što dovodi do njegove nestabilnosti (utjecaj ove pojave može se smanjiti dodatnim uređajem na izvoru struje koji proizvodi visokonaponsku i visokofrekventnu struju u trenutku "gašenja" luka). Kod TIG AC zavarivanja promjenom frekvencije izmjenične struje, ali i njezinim balansom (odnosom koliko vremena je elektroda na pozitivnom, a koliko na negativnom polu), može se utjecati na geometriju zavarenog spoja, čišćenje oksida, ali i termičko opterećenje radnog komada i elektrode. Primjeri kombinacije ovakvih parametara dani su slikom 5. [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13]



**Slika 5.** a) Kontrola balansa izmjenične struje: 1 - veće EP vrijeme, veće čišćenje; 2 - veće EN vrijeme, manje čišćenje; b) Kontrola frekvencije izmjenične struje: 1 - manja frekvencija, "mekši" luk, manja penetracija; 2 - veća frekvencija, usmjereniji luk, dublja penetracija; c) Nezavisna kontrola jakosti struje: 1 - veća struja u EP području, manja penetracija; 2 - veća struja u EN području, dublja penetracija, veća brzina zavarivanja. [7]

Osim navedenih slučajeva (DCEN, DCEP, AC), postoji i mogućnost TIG zavarivanja impulsnim strujama. Osnovna prednost takvog načina zavarivanja je smanjeni unos topline tj. manje deformacije radnog komada. Pri tome valja obratiti pozornost na slijedeće parametre:

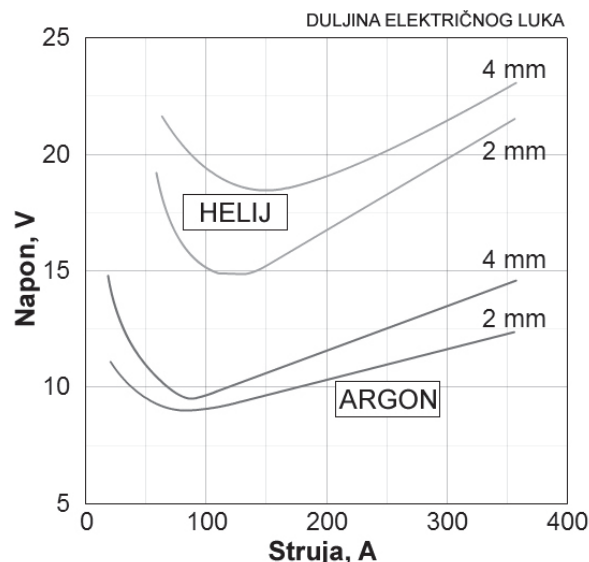
- vršna vrijednost struje (obično je viša nego kod konvencionalnog TIG zavarivanja)
- minimalna vrijednost struje (omogućuje održavanje električnog luka)
- broj impulsa u jedinici vremena
- postotak uključenog impulsa (vrijeme trajanja vršne struje izraženo postotkom) [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13]

### 3.2. Zaštitni plinovi

Najčešći zaštitni plinovi koji se koriste u primjeni TIG postupka zavarivanja su plemeniti plinovi helij i argon. Iako se u izvornom obliku TIG procesa koristio helij, danas je argon taj koji je dominantan u primjeni. Oba plina su inertna te daju zaštitnu atmosferu u kojoj ne dolazi do kemijskih reakcija između zaštitnog plina i osnovnog materijala. Osim primarnog cilja zaštitnog plina, a to je zaštita rastaljenog materijala od utjecaja atmosfere, važno je za naglasiti da zaštitni plin direktno utječe i na stabilnost te kvalitetu električnog luka, geometrijske karakteristike zavarenog spoja, estetski izgled zavarenog spoja kao i na količinu para koje se oslobađaju tijekom procesa zavarivanja.

Argon je najjeftiniji inertni plin koji se koristi kod TIG zavarivanja, ali to nije jedina njegova prednost. Ima niski ionizacijski potencijal (energija potrebna za uzimanje jednog elektrona atoma plina da ga pretvori u ion), 15,7 eV, što olakšava uspostavu i stabilnost električnog luka. Također, 1,4 puta je teži od zraka te izlaskom iz sapnice potiskuje zrak i dobro štiti rastaljeni metal, a ista karakteristika doprinosi i potrebi za manjim protokom prilikom zavarivanja. Argon u odnosu na helij ima nižu toplinsku vodljivost što rezultira kompaktnijim električnim lukom čime se dobiva manja penetracija i protaljšivanje. Minimalna potrebna čistoća argona iznosi 99,95%, iznimno 99,997%.

Helij je plin s višim ionizacijskim potencijalom (24,5 eV) što otežava uspostavu električnog luka. Male je mase (10 puta manje nego argon), zbog čega protoci helija moraju biti i do tri puta veću nego što je slučaj s argonom. Dobra strana helija kao zaštitnog plina je vrlo dobra toplinska vodljivost te daje širi električni luk. Toplina iz električnog luka brže se prenosi na radni komad, daje veću penetraciju i toplinski input (napon električnog luka sa zaštitnim plinom helijem je značajno veći nego kod argona pri istim strujama), slika 5. Ova karakteristika posebno dolazi do izražaja prilikom zavarivanja materijala velike toplinske vodljivosti (npr. bakar) te zavarivanja pozicija većih debljina. Također, iz slike je vidljivo povećavanje napona električnog luka pri nižim strujama (kod helija je to između 50 i 100 A što je nepovoljno kod zavarivanja tanjih materijala koje se upravo i zavaruju u ovom rasponu struja. Minimalna potrebna čistoća helija kao zaštitnog plina iznosi 99,99%.



Slika 6. Ovisnost duljine električnog luka o vrsti zaštitnog plina kod TIG zavarivanja, prema [15]

Osim čistog inertnog plina argona i helija, česta je upotreba i njihove mješavine u različitim omjerima. Mješavina argona i helija kombinacija je povoljnijih svojstava argona odnosno helija, a primjeri karakteristika zavarivanja spomenutim plinovima prema izvoru [7], dana je u tablici 2.

Tabela 2. Usporedba karakteristika zavarivanja pri primjeni različitih zaštitnih plinova, prema [7]

Karakteristika	Ar	Mješavina Ar/He	He
Brzina zavarivanja	smanjena	veća nego kod 100% Ar	veća
Penetracija	smanjena	veća nego kod 100% Ar	povećana
Čišćenje oksida	dobro	sličnije kao kod 100% Ar	loše
Uspostava luka	laka	bolja nego kod 100% He	otežana
Stabilnost luka	dobra	bolja nego kod 100% He	niža kod manjih struja
Oblik luka	uži, fokusiran	uži nego kod 100% He	širi
Napon luka	manji	srednja	veći
Protok	manji	veći nego kod 100% Ar	povećan
Cijena	niža	veća nego 100% Ar	veća nego 100% Ar

Osim spomenutih kombinacija plinova i mješavina, postoji mogućnost dodavanja manjeg postotka drugih plinova u mješavine pa tako, npr., vodik koji ima vrlo dobru toplinsku vodljivost povećava penetraciju dok se mješavine s dodatkom dušika upotrebljavaju uglavnom kod zavarivanja materijala s austenitnom strukturom. Osim navedenog, važno je spomenuti da se TIG zavarivanje zbog nekih svojih nedostataka upotrebljava kod zahtjevnijih zavarenih spojeva gdje je česta i nužna zaštita korijenskog dijela zavarenog spoja. U ovom slučaju cilj je "odstraniti" zrak s korijenske strane spoja i upuhati zaštitni plin te ga održavati pod niskim pritiskom. Zaštita je moguća i kod sućeonih i kod cijevnih spojeva iz pomoć jednostavnih naprava, a često se upotrebljava i kod polu-automatiziranih sustava. [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13, 15]

### 3.3. Netaljive elektrode

Netaljiva elektroda služi za uspostavu električnog luka između gorionika i radnog komada, tj. kao provodnik električne struje. Ne tali se, njezino trošenje isključivo je povezano za oblikovanjem njezine geometrije brušenjem, ili eventualno oštećenjima zbog nepravilne tehnike rada. Prosječni vijek trajanja netaljive elektrode dužine 200 mm iznosi 30 sati. Elektrode se izrađuju od volframa, metala velike gustoće (poznat i kao tungsten; švedski: "teški kamen") i tališta 3422 °C. Razvojem TIG zavarivanja i izvora struje za zavarivanje dolazilo je i do većih zahtjeva u pogledu uspostave i stabilnosti električnog luka pa se danas upotrebljavaju elektrode koje nisu od čistog volframa, već se legiraju kako bi se poboljšale njezine radne karakteristike. primjeri legiranja, primjene i oznaka elektrode dani su u tablici 3.

**Tabela 3.** Usporedba karakteristika zavarivanja pri primjeni različitih zaštitnih plinova, prema [16]

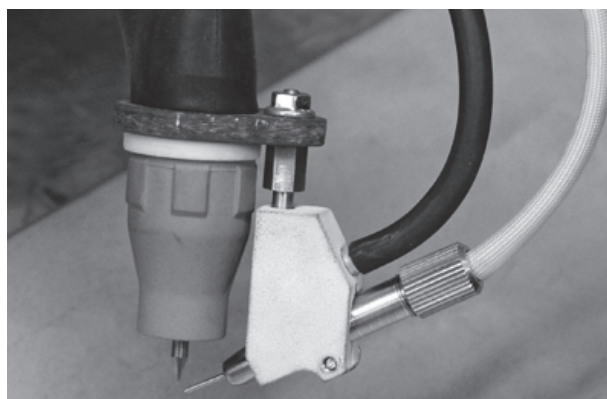
Tip elektrode	Oznaka (boja)	Primjena i karakteristike
W	ZELENA	dobra stabilnost luka kod AC zavarivanja, otporna na onečišćenja, niža cijena
dodatak oksida 1,8-2,2 % CeO <sub>2</sub>	SIVA	karakteristike slične kao i kod elektroda sa torijevim oksidom, laka uspostava luka, duži vijek trajanja
dodatak oksida 1,7-2,2 % ThO <sub>2</sub>	CRVENA ŽUTA LJUBIČASTA NARANČASTA	laka uspostava luka, veća stabilnost luka, podnosi veće opterećenje, duži vijek trajanja, otežana stabilnost luka kod oblog oblikovanja na AC strujama
dodatak oksida 1,3-1,7 % La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZLATNA CRNA PLAVA	vrlo slične karakteristike kao kod elektroda s torijevim oksidom
dodatak oksida 0,15-0,40 % ZrO <sub>2</sub>	SMEDA	izvrsne karakteristike kod AC zavarivanja i zaobljenog vrha elektrode, visoka otpornost na onečišćenja, laka uspostava električnog luka, prikladno kod zahtjeva gdje nije dozvoljeno prisustvo volframa u zavaru

Elektrode se izrađuju u promjerima 0,5; 1,0; 1,6; 2,4; 3,2; 4,0; 6,4 i 8,0 mm, a duljine najčešće 150 mm (postoje i manje standardne duljine). Osim pravilnog izbora legirane elektrode, jednako je važna i priprema iste. Priprema se sastoji od zaobljena ili zašiljenja vrha prilikom čega valja imati na umu da geometrija netaljive elektrode direktno utječe na geometriju električnog luka. Zaobljeni vrh elektrode koristi se uglavnom kod zavarivanja Al, Mg i legura. Ostali materijali zahtijevaju šiljatu geometriju vrha elektrode (oblik stošca, visina stošca ovisi o zahtjevima geometrije luka). Prilikom izrade geometrije elektrode pravilnom tehnologijom brušenja izbjegavaju se nestabilnosti luka ili kontaminacija drugim metalima.

### 3.4. Dodatni materijal

Izvođenje TIG zavarivanja moguće je s ili bez dodatnog materijala. Zavarivanje bez dodatnog materijala, pretaljivanje, upotrebljava se najčešće do

debljina cca 3 mm. Ukoliko postoji potreba za dodatnim materijalom on se dodaje ručno ili automatizirano. Kod ručnog dodavanja materijala u zavareni spoj govori se o šipkama različitih promjera i duljine cca 915 mm (36 in). Kod automatiziranog dodavanja dodatnog materijala gdje se dodatni materijal mehanizirano dovodi do rastaljenog osnovnog materijala u "hladnom" ("cold wire") ili predgrijanom stanju ("hot wire"). Osnovna prednost ovakvog načina dovođenja dodatnog materijala kod TIG zavarivanja je znatno povećanje produktivnosti procesa (veća količina depozita) čime se umanjuje najveći nedostatak istog, slika 6. [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12,13, 17]



**Slika 7.** TIG "HOT WIRE" postupak zavarivanja [17]

### 3.5. Oprema za TIG zavarivanje

Osnovni dijelovi konvencionalnog uređaja za TIG postupak zavarivanja su:

1. Izvor struje za zavarivanje
2. Vodiči struje i plina
3. Gorionik
4. Sustav za hlađenje
5. Sustav za dovođenje zaštitnog plina.

Iako je TIG postupak zavarivanja elektrolyčni postupak s čestom primjenom u praksi, baš kao i kod ostalih postupaka zavarivanja primjetan je konstantan razvoj opreme za zavarivanje te njezino unapređenje u cilju smanjenja nekih nedostataka ovog postupka ili poboljšanja kvalitete zavarenog spoja.

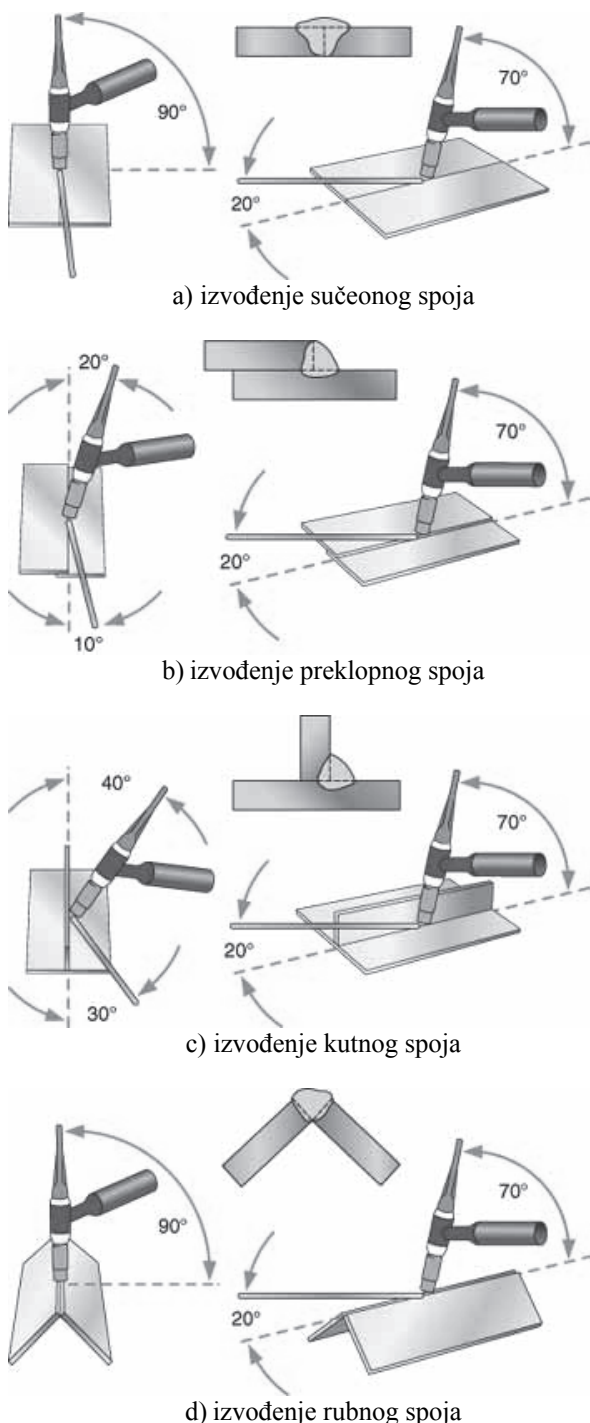
Izvori struje za zavarivanje ima strmopadajuću karakteristiku pošto se zavarivanje uglavnom izvodi ručno. Osnovne karakteristike izvora struje je vrsta struje zavarivanja (AC/DC, impulsna), mogućnost VF paljenja luka, intermitencija, raspon struje zavarivanja, priključni napon, mogućnosti upravljanja parametrima (početna i završna struja, "up slope", "down slope", predplin završni plin, upravljanje impulsima, frekvencijom, balansom itd.).

Zbog specifičnosti potreba zavarivanja poseban naglasak valja staviti na TIG gorionike za zavarivanje. Danas su na tržištu prisutni gorionici različitih konstrukcija (veličina, oblik, dužina kape, fleksibilnost itd.) koje uvelike mogu biti korisne prilikom posebnih zahtjeva konstrukcije. Važan dio gorionika jest i vanjska sapnica. Ona direktno utječe na karakteristike zaštite metala zavara, ali i netaljive elektrode. Konstrukcijski može utjecati i na turbolentnost zaštitnog plina. Vanjske sapnice izrađuju se najčešće od keramičkih materijala

koje podnose visoke temperature, ali je i dostupna transparenta sapnica za posebne zahtjeve vidljivosti zavarenog spoja te sapnice za specijalne namjene (zavarivanje titana itd.). Gorionici mogu biti hladeni zrakom (primjena za manje struje zavarivanja) i vodom u zatvorenom sustavu. [1, 2, 3, 7, 10, 11, 12,13]

#### 4. PRAKTIČNA PRIMJENA TIG ZAVARIVANJA

TIG zavarivanje je postupak zavarivanja koji iziskuje najdužu izobrazbu zavarivača od svih elektrolučnih postupaka. Osnovne tehnike rada prema izvoru [16] prikazuje slika 7.



Slika 8. Tehnike izvođenja TIG zavarivanja [16]

Isti izvor preporučuje parametre zavarivanja te odabir netaljivih elektroda i zaštitnih plinova kod zavarivanja različitih materijala prema tablici 4 i 5.

Tabela 4. Preporučeni parametri zavarivanja (za zaštitni plin Ar), prema [16]

Promjer netaljive elektrode [mm]	Promjer sapnice ["]	Raspon struje [A]				
		DC	AC			
			DCEN	70% penetracija	50/50 balans AC	
1,0	3/8; #5	15-80	20-60	15-80	10-30	20-60
1,6	3/8; #5	70-150	50-100	70-150	30-80	60-120
2,4	1/2; #8	150-250	100-160	140-235	60-130	100-180
3,2	1/2; #8	250-400	150-200	225-325	100-180	160-250

Tabela 5. Preporučeni parametri zavarivanja, prema [16]

Metal	Debljina	Struja	Netaljiva elektroda	Zaštitni plin
Al	sve	AC	zelen siva crvena zlatna	Ar
	sve	AC Squarewave	siva crvena zlatna	Ar
	iznad 5mm	AC	siva crvena zlatna	Ar
Cu i legure	sve	DCEN	siva crvena zlatna	Ar
Mg i legure	sve	AC	siva crvena zlatna	Ar
Čelik	sve	DCEN	siva crvena zlatna	Ar
Nehrđajući čelik	sve	DCEN	siva crvena zlatna	Ar

#### 5. ZAKLJUČAK

TIG postupak zavarivanja je postupak elektrolučnog zavarivanja koji bez obzira na neke bitne nedostatke (brzina zavarivanja, mali depozit dodatnog materijala, ekonomičnost) zauzima važno mjesto u izradi strojarskih konstrukcija, a glavni razlog tome je prilagodljivost procesa zahtjevima konstrukcije i iznimna kvaliteta zavarenog spoja. Također, značajna je karakteristika je primjena ovog postupka na svim metalnim materijalima sa opremom pristupačne cijene. Od samog početka patentiranja postupka TIG zavarivanja vidljiv je konstantan razvoj opreme za zavarivanje (izvori struje za zavarivanje, gorionici, plinske sapnice itd.), ali i dostupnost različitih plinskih mješavina u svrhu dobivanja što kvalitetnijih zavarenih spojeva. Iako se izvodi uglavnom kao ručni postupak, polu-automatizacija i automatizacija procesa nije rijedak slučaj u primjeni TIG zavarivanja. Ista se može postići već sa vrlo jednostavnim napravama ili sofisticiranim robotskim rješenjima. Primjetan je i razvoj modificiranih TIG postupaka (TIP-TIG, A-TIG...). Primjena TIG postupka je vrlo široka bez obzira što se uglavnom koristi kod

zavarivanja pozicija debljine do 6 mm. Najčešće primjene TIG zavarivanja su proizvodna zavarivanja, navarivanja, reparaturna zavarivanja itd.

## 6. LITERATURA

- [1] Kralj, S.; Andrić, Š.: Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Sveučilište u Zagrebu, fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992.
- [2] Lukačević, Z.: Zavarivanje, Sveučilište Josip Juraj Strossmayer, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 1998.
- [3] Priručnik za zavarivanje, Elektroda Zagreb, Zagreb 1987.
- [4] [http://www.netwelding.com/history\\_tig\\_welding.htm](http://www.netwelding.com/history_tig_welding.htm)
- [5] <http://www.weldinghistory.org/whfolder/biography/bio-meredith.html>, preuzeto 27.11.2014.
- [6] <https://www.google.com/patents/US2274631?dq=2274631&hl=hr&sa=X&ei=dv94VL6wLqHVygPGmoHgCg&ved=0CBsQ6AEwAA>, preuzeto 27.11.2014.
- [7] Guidelines for Gas Tungsten Arc Welding; Miller Electric; 2013.
- [8] [http://www.reddit.com/r/mildlyinteresting/comments/1vzry6/an\\_arc\\_getting\\_ready\\_to\\_strike\\_from\\_a\\_tig\\_welder/](http://www.reddit.com/r/mildlyinteresting/comments/1vzry6/an_arc_getting_ready_to_strike_from_a_tig_welder/), preuzeto 27.11.2014.
- [9] <https://www.ewm-group.com/en/presse/pressemitteilungen/455-pm-201306-tigspeed-mehr-als-nur-ein-tig-schneller.html>, preuzeto 27.11.2014.
- [10] Kou, S.: Welding Metallurgy, John Wiley & Sons Inc., 2003.
- [11] Živčić, M.: Tig zavarivanje – osnovne karakteristike postupka, Zavarivanje, 1985., broj 1, 39 – 45 str.
- [12] Živčić, M.: Tig zavarivanje – osnovne karakteristike postupka, Zavarivanje, 1985., broj 2, 99 – 107 str.
- [13] ASM Welding Handbook – Welding, Brazing and Soldering, ASM International, Materials park, 1993.
- [14] <http://www.mooseforge.com/Welding/tig.html>, preuzeto 27.11.2014.
- [15] <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=195&pageid=2144416789>, preuzeto 28.11.2014.
- [16] [http://www.millerwelds.com/resources/tech\\_tips/TIG\\_tips/hints\\_tips.html](http://www.millerwelds.com/resources/tech_tips/TIG_tips/hints_tips.html), preuzeto 28.11.2014.
- [17] <https://www.ewm-group.com/en/presse/pressemitteilungen/455-pm-201306-tigspeed-mehr-als-nur-ein-tig-schneller.html>, preuzeto 28.11.2014.

### Kontakt autora:

**Marko Horvat, dipl. ing.**  
Sveučilište Sjever  
Sveučilišni centar Varaždin  
104. brigade 3  
42000 Varaždin  
e-mail: marko.horvat@velv.hr

**Veljko Kondić, mag. ing. mech.**  
Sveučilište Sjever  
Sveučilišni centar Varaždin  
104. brigade 3  
42000 Varaždin  
e-mail: veljko.kondic@unin.hr

**Dražen Brezovečki, CIWT**  
Bajkmont d.o.o.  
Svetomatejska 12  
10360 Sesvete