



MIG ZAVARIVANJE TANKIH ALUMINIJSKIH LIMOVA

Tehnologija, oprema, primjena

Marijan Rudan, dipl.ing.
«OPTIMUS» d.o.o., 52212 Fažana, Valbandon 606
Tel: 098/219 533
Fax: 052/ 520 813
E-mail: optimus@inet.hr

Sažetak: *U radu je opisan MIG/MAG postupak zavarivanja tankih aluminijskih limova, kroz opis glavnih obilježja postupka, opreme koja se koristi te načina i područja primjene, uz kratke upute za rad*

Ključne riječi: MIG postupak, zavarivanje, aluminij

1. Uvod

Aluminij i njegove legure pripadaju grupi lakih metala i vrlo su pogodni za izradu različitih konstrukcija, zahvaljujući slijedećim karakteristikama:

- mala specifična masa (približno tri puta manja od čelika)
- relativno velika čvrstoća
- dobra otpornost na koroziju prema zraku i različitim oksidirajućim spojevima
- dobra mehanička obradivost i mogućnost deformiranja
- dobra zavarljivost (uz primjenu odgovarajućeg postupka)

Tabela 1: *Neke usporedne fizičke karakteristike aluminija i željeza*

Materijal	Masa (kg/dm^3)	Točka taljenja ($^{\circ}\text{C}$)	El. vodljivost (S)	Topl. vodljivost ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)	Modul elast. (N/mm^2)
Aluminij	2,7	660	36	210	$0,7 \times 10^4$
Željezo	7,85	1540	10	63	$2,1 \times 10^4$

Prema najčešće upotrebljavanoj AA (Aluminium Association Inc.) klasifikaciju je usvojio i ASTM, legure aluminija se označavaju brojevima prema osnovnom kemijskom sastavu:

- 1xxx: čisti Al (99% ili čišće), koristi se u kemijskoj i elektro industriji
- 2xxx: legure na bazi bakra, imaju primjenu u zrakoplovnoj industriji
- 3xxx: legure s manganom, do najviše 1,5%. Dade se toplinski obraditi, imaju umjerenu čvrstoću i pogodne su za obradu
- 4xxx: glavni legirajući element je silicij, a većina legura iz ove grupe nije toplinski obradiva
- 5xxx: glavni legirajući element je magnezij. Legure imaju dobru zavarljivost, otpornost na koroziju i srednju čvrstoću. Malo je ograničena mogućnost hladne prerade.
- 6xxx: legure ove grupe sadrže magnezij i silicij, što omogućava toplinsku obradu. Imaju srednju čvrstoću i dobru korozionu otpornost.
- 7xxx: glavni legirajući element je cink. Legure su velike čvrstoće i veoma obradive. Primjena ovih legura nalazi se u zrakoplovnoj industriji

2. Zavarivanje aluminija i njegovih legura

Kada se govori o zavarivanju aluminija, uglavnom se misli na zavarivanje njegovih legura, jer su legure pretežni oblici u kojima aluminij dolazi na tržište.

Općenito se aluminij i njegove legure mogu spajati svim postupcima zavarivanja topljenjem. Zavarljivost u slučaju primjene određenog postupka zavarivanja zavisi o vrsti i sadržaju legiranih elemenata, te stanju legure. Za ostvarivanje kvalitetnih spojeva zavarivanjem, treba voditi računa o specifičnostima ove grupe materijala kao :

- visoki afinitet prema kisiku
- slabu moć rastvorljivosti vodika u čvrstom stanju
- mogućnost pojave toplih pukotina kod određenih vrsta aluminijskih legura

Posebna karakteristika i problem kod zavarivanja aluminija je tanak sloj aluminijevog oksida (Al_2O_3) koji se konstantno stvara na površini legure i njegova visoka temperatura topljenja ($2050^{\circ}C$) u odnosu na nisku temperaturu topljenja aluminija (oko $658^{\circ}C$).

Visoka pak toplinska vodljivost aluminija, zahtijeva primjenu posebnih procedura, a kod debljih materijala i posebno predgrijavanje.

Poznavajući ovu problematiku kao i postupke zavarivanja koje je moguće koristiti u određenom slučaju, kvalitetno zavarivanje postaje predmet dobrog planiranja i odabrane procedure od skladištenja sirovine, pripreme, do samog zavarivanja i odlaganja gotovog zavarenog sklopa.

2.1 Postupci zavarivanja kod zavarivanja aluminija

Dva prevladavajuća postupka kod zavarivanja aluminija su TIG i MIG, čija primjena u konkretnom slučaju zavisi od više faktora.

2.1.1 TIG postupak zavarivanja

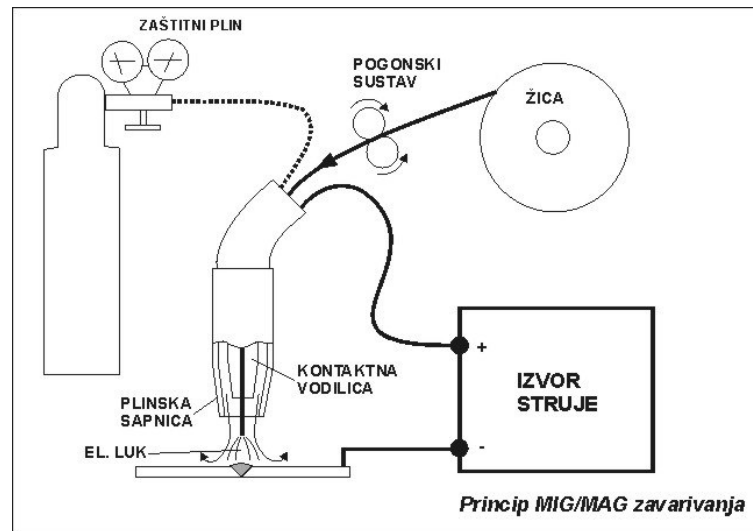


Slika 1. Prikaz TIG zavarivanja aluminija

TIG (WIG postupak u njemačkoj varijanti) ili "zavarivanje volframovom elektrodom u zaštiti inertnog plina" je postupak koji se pretežno koristi za zavarivanje materijala manjih debljina (1-5mm). Kod zavarivanja aluminija i njegovih legura koristi se zavarivanje izmjeničnom strujom koja osigurava dobro čišćenje aluminijskog oksida tijekom pozitivne poluperiode. Ovaj postupak daje odličnu kvalitetu i lijep izgled zavara, ali je brzina zavarivanja relativno mala (od 125 do 250 mm/min), unos energije je velik i nije pogodan za ekonomična i produktivna zavarivanja (proizvodnju), osim ako nije automatiziran. Kod ovog postupka, parametre zavarivanja treba održavati vrlo točnim, a često se zbog tehnoloških razloga zavaruje sa dva nivoa struje. Kao zaštitni plin se koristi argon, a posebnu pažnju treba posvetiti tipu i promjeru volfram elektrode, dimenziji plinske sapnice, vrsti hlađenja gorionika itd.

2.1.2 MIG postupak zavarivanja

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



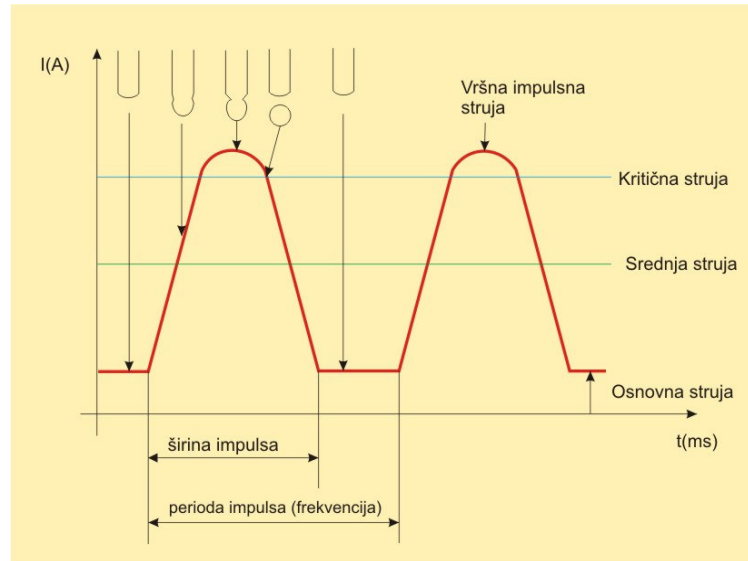
Slika 2. Grafički prikaz principa MIG zavarivanja

Zbog utjecaja topline električkog luka, topi se žica (koja se dovodi konstantnom brzinom) i osnovni materijal na mjestu zavarivanja, čime se ostvaruje zavareni spoj. Kod zavarivanja aluminija, proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju omogućuje inertni plin argon (Ar) ili mješavine argona i helija (Ar+He). Postupak je izuzetno pogodan za mehanizaciju, automatizaciju i robotizaciju.

3. Specifičnosti kod zavarivanja tankih aluminijskih limova (i profila)

U praksi prevladava mišljenje da se kod aluminija MIG postupak ne koristi ispod debljina od 1,5mm, ili da se za takve debljine uglavnom koristi impulsni MIG postupak.

Samo da podsjetim, kod MIG impulsnog postupka izvor struje generira promjenljiv oblik struje (impuls), koji omogućava otkidanje samo jedne kapljice tijekom impulsa, a količina prijenosa materijala se regulira promjerom žice i brojem impulsa (frekvencijom).



Slika 2. Grafički prikaz impulsnog postupka i načina otkidanja kapljice

Ovim načinom se osigurava stabilan i miran električni luk, praktički bez rasprskavanja (prijenos kapljica je u režimu štrcajućeg luka).

Ipak, pored svakako najboljih tehnoloških mogućnosti, još uvijek su takvi uređaji relativno skupi, sukladno kompleksnoj upravljačkoj tehnologiji koju koriste.

Postoji čitav jedan segment tržišta koji koristi tehnologiju zavarivanja tankog aluminija (reparatura automobilskih karoserija, izrada jednostavnog aluminijskog namještaja, izrada samostojećih reklama), gdje zavarivači nisu posebno educirani i gdje se koristi i klasični MIG postupak.

Naime kod zavarivanja aluminija MIG postupkom bilo koje vrste, postoje zajednički problemi koji mogu i najmoderniji uređaj učiniti beskorisnim, ukoliko se ne poštuju neka osnovna pravila. Kod aluminija je svakako najveći problem kontinuirano dovođenje dodatnog materijala (žice) od koluta do mjesta zavarivanja, a što ovisi samo o primjenjenom sustavu vođenja žice.

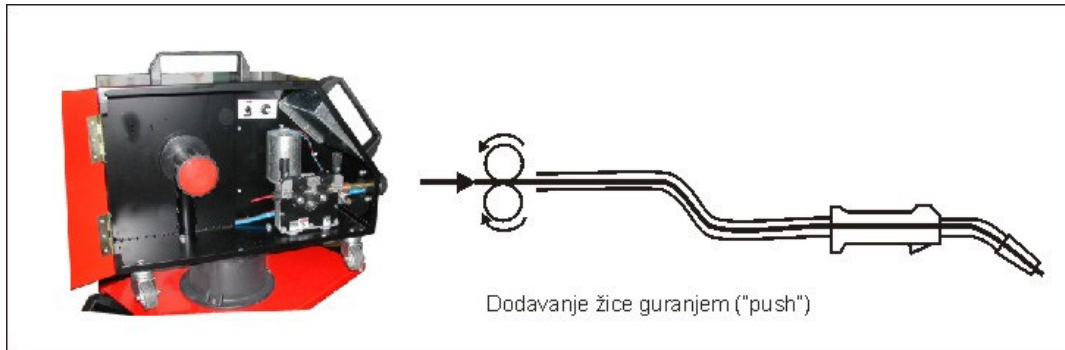
3.1 Sustavi dodavanja (vođenja) žice

Za dodavanje žice se najčešće koriste tri načina:

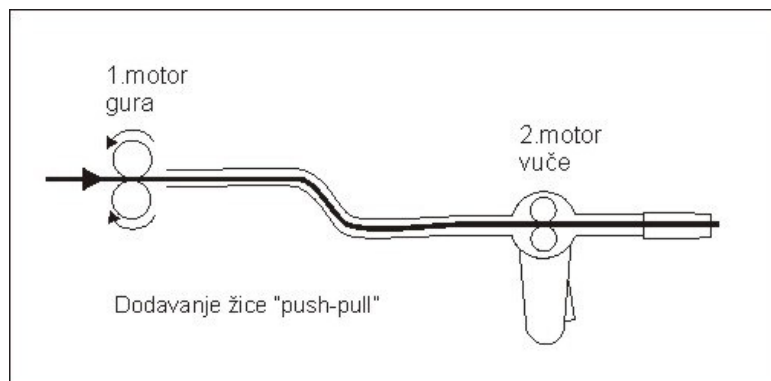
- žica se kontroliranom brzinom gura pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice u gorioniku do samog mjesta zavarivanja. Ovaj sustav je poznat pod imenom «push», a komercijalno je kod nas poznat još i kao A10. Kontrolirana brzina osigurava se elektronički reguliranim istosmjernim motorom, siguran pogon osigurava sa 2 ili 4 pogonska kotačića (valjka), koji žicu vode i guraju kroz kalibrirane utore (specijalni V ili U za aluminij) 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 1,2-2,4mm za aluminij i njegove legure, a sve vodilice u sustavu su najčešće teflonske, poliamidne ili grafitne. Dodavanje žice guranjem omogućava sigurno dodavanje na udaljenostima do 3 m od izvora i danas se najčešće koristi u praksi, a kod impulsnih izvora skoro obvezno



- žica se kontroliranom brzinom gura («push») pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice do pogonskih kotačića u gorioniku, koji ih vuče («pull») do mjesta zavara. 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.



- Korištenjem posebne izvedbe gorionika tzv. «spool gun», kod kojeg se pogon nalazi samo 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 do 0,5 kg 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.



Slika 5. „Spool gun“ gorionik

Korištenje ovog sustava omogućuje zavarivanje vrlo mekim žicama (npr. AISi5), vrlo malim promjerima od 0,8mm, što je naročito povoljno za primjenu u autoreparaturi.



Slika 6. Reparatura aluminijskog dijela automobila

4. Parametri zavarivanja i njihov izbor

Parametre kod MIG/MAG nije uvijek jednostavno odabrati. Oni zavise o debljini materijala kojeg zavarujemo, 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, koje uvijek prije konkretne primjene treba verificirati pokusom.

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

Zbog lakšeg izbora parametara, danas većina proizvođača nastoji ponuditi automatsko postavljanje parametara, na temelju odabrane vrste dodatnog materijala i npr. debljine materijala koji se zavaruje.

Debljina lima (mm)	Sučeoni zavar		Kutni zavar		Preklopni zavar	
	Napon (V)	Struja (A)	Napon (V)	Struja (A)	Napon (V)	Struja (A)
0,8			12,7	59-61	13,3	59-63
1,0	13,4	50-52	13,6	62-66	13,9	63-65
1,5	14,7	78-82	15,5	89-93	15,4	88-93
2,0	15,8	85-90	16,1	106-109	16,3	104-109

Tabela 2. Parametri MIG zavarivanja, žica AISi5, promjer 0,8mm, zašt. plin Ar

5. Kratke upute za zavarivanje aluminijskih materijala

Za sve koji možda žele pokušati zavarivati aluminij (ali se nisu usuđivali), dajem kratke i jednostavne upute za lakši i uspješniji početak.

Za početak preporučujem tvrđu žicu (AlMg5) promjera 1,0mm, bolji uređaj uređaj za zavarivanje barem do 200A, gorionik do 3m ili kraći, te probne limove debljine 2mm.

Za ostalo, slijedite upute.

5.1 Priprema materijala

- Površina predmeta u području zavarivanja, kao i upotrebljena žica moraju biti što je moguće čišći, bez masnoća. Radi uklanjanja oksida, površinu zavarivanja treba očistiti četkom od nehrđajućeg čelika



Slika 7. Mjesto zavora treba očistiti

- Kod zavarivanja sučeonog spoja uvijek koristiti podlogu, kako bi se talina brže skrutnula. Kao podloga se mogu koristiti deblje ploče od CrNi čelika, bakra ili aluminija
- Zavaruje se smjerom „od desno na lijevo“, a gorionik se drži pod nagibom 75-80° suprotno od smjera zavarivanja, radi boljeg čišćenja oksida



Slika 8. Kod lijevog zavora, smjer zavarivanja je pogrešan (crn zavar)

- Zaštitni plin je čisti argon (99,99%). Potreban protok plina je za manje struje (tanji materijali) oko 10l/min, za jače struje i štrcajući luk protok je od 12-22 l/min.

5.2 Priprema uređaja za zavarivanje

- Vučni valjci moraju biti specijalno prilagođeni zavarivanju aluminija, utori za vođenje žice moraju biti oblika U ili specijalno V (oznaka „A“ na valjcima). Promjer valjaka koji se danas koristi je obično 37mm, iako se mogu koristiti valjci promjera 30mm
- Pritisak potisnog valja na vučni mora bit što manji, a da ne dođe do proklizavanja. Preveliki pritisak (koji se daje regulirati) uzrokuje klasičnu grešku, gužvanje žice (vidi sliku)



Slika 9. Pritisak valjaka je prevelik, ili imamo pogrešnu vodilicu

- Vodilica žice od vučnog valjka do kontaktne vodilice mora biti naprekinuta i nemetalna. Obično se koristi teflon i neke vrste poliamida pomiješane s grafitom (vidi sliku)



Slika 10. Ulaz žice mora biti kroz teflonsku vodilicu

- Promjer rupe na kontaktnoj vodilici u gorioniku mora biti veći od onog koji se koristi za zavarivanje čelika, obično se uzima vodilica „jedan broj veća“ (za žicu promjera 1mm uzima se vodilica za čeličnu žicu 1,2mm, ili specijalna vodilica za Al žicu 1mm).



Slika 11. Promjer kontaktne vodilice mora biti nešto veći od uobičajenog

5.2 Zavarivanje

- Zavarivanje započeti kraćom dužinom žice od normalnog rada (gorionik bliže predmetu) i pod kutem od oko 60° . Kad se luk uspostavi, zauzme se potrebna udaljenost i kut. Početak dobrog zavara je prikazan na slici, a svi slijedeći zavari moraju biti bolji.



Slika 12. Napokon, zavar za prolaznu ocjenu



- Nastojati ne zavarivati na otvorenom i hladnom prostoru. Za dobar početak zavarivanja potreban je zatvoren prostor i barem sobna temperatura.

6. Zaključak

MIG zavarivanje je visokoproduktivni postupak zavarivanja, kojim se vrlo učinkovito može zavarivati i aluminij. Mogućnost kvalitetnog zavarivanja, veliki broj specijaliziranih varijanti i odlične mogućnosti automatizacije čine ga danas vodećim postupkom zavarivanja u proizvodnji. Poznavanje osnovnih karakteristika materijala, potpuno poštivanje pripremnih procedura te odabir i provedba dobre tehnologije zavarivanja, jamče kvalitetu i ekonomičnost proizvodnje određene konstrukcije.