

## PRIMJERI MODIFICIRANIH POSTUPAKA MIG/MAG ZAVARIVANJA

### THE EXAMPLES OF MODIFIED PROCEDURES OF MIG/MAG WELDING

*Marko Horvat, Veljko Kondić*

Stručni članak

**Sažetak:** U članku su prikazane osnove elektrolučnog zavarivanja u zaštiti inertnog/aktivnog plina, a spomenuta je i povijest razvoja ovog postupka. Kratko su opisana tri modificirana postupka ovog načina zavarivanja, uz naglasak na njihovu primjenu.

**Ključne riječi:** MIG/MAG postupak zavarivanja, STT, FastROOT, RMT

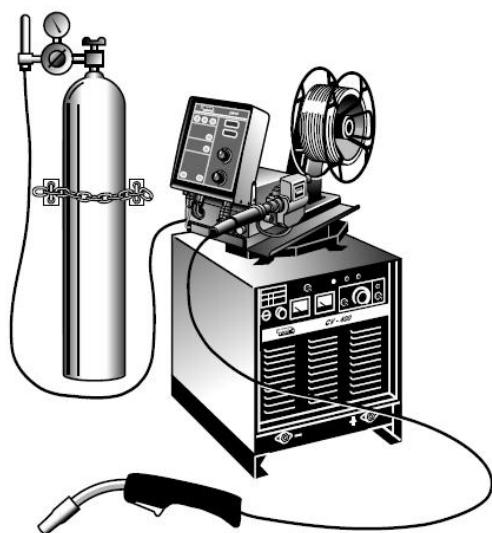
Professional paper

**Abstract:** This paper presents the basics of arc welding used for the protection of inert/active gas with a short description of the procedure's history and the course of its development. Three modified procedures of this type of welding are briefly described emphasizing their preparation procedure.

**Key words:** MIG/MAG welding procedure, STT, FastROOT, RMT

#### 1. UVOD

MIG/MAG postupak zavarivanja je postupak elektrolučnog zavarivanja u zaštitnoj atmosferi inertnog (MIG – Metal Inert Gas) ili aktivnog (MAG – Metal Active Gas) plina. Električni luk ostvaruje se između radnog komada i taljive, kontinuirane elektrode koja je u ovom postupku zavarivanja ujedno i dodatni materijal.

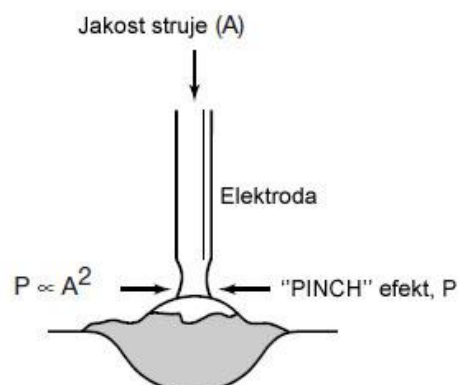


**Slika 1.** Prikaz opreme i uređaja za MIG/MAG zavarivanje: izvor struje, dodavač žice, kontrolna ploča, zaštitni plin i regulacija [3]

Iako se osnovni principi i razvoj kontinuiranog električnog luka za zavarivanje spominju već početkom 19. stoljeća, elektrolučno zavarivanje u zaštiti

inertnih/aktivnih plinova (MIG/MAG ili GMAW – Gas Metal Arc Welding) primjenu u industriji nalazi tek sredinom 20. stoljeća. Ovaj je postupak prvotno namijenjen zavarivanju aluminija, legura na bazi aluminija te ostalih obojenih materijala, a veću primjenu u zavarivanju čelika pronalazi razvojem aktivnih plinova i mješavina plinova koje su znatno smanjile cijenu zavarivanja. Razvoj ovog postupka prije svega je potaknut zbog veće brzine zavarivanja, veće količine rastaljenog materijala u jedinici vremena, jednostavnog rukovanja ili automatizacije, zbog čega je i danas jedan od najčešće korištenih postupaka u zavarivačkoj industriji.

Razvoj ovog postupka zavarivanja najviše ovisi o razvoju izvora struje za zavarivanje. S mogućnošću podešavanja većeg broja parametara, uz uvjet pravilnog odabira, zasigurno jamči kvalitetniji zavareni spoj uz optimalne troškove. Kvaliteti zavarenih spojeva pridonosi i razvoj plinskih mješavina koje direktno utječu na prijenos metala i na konačan oblik zavarenog spoja.

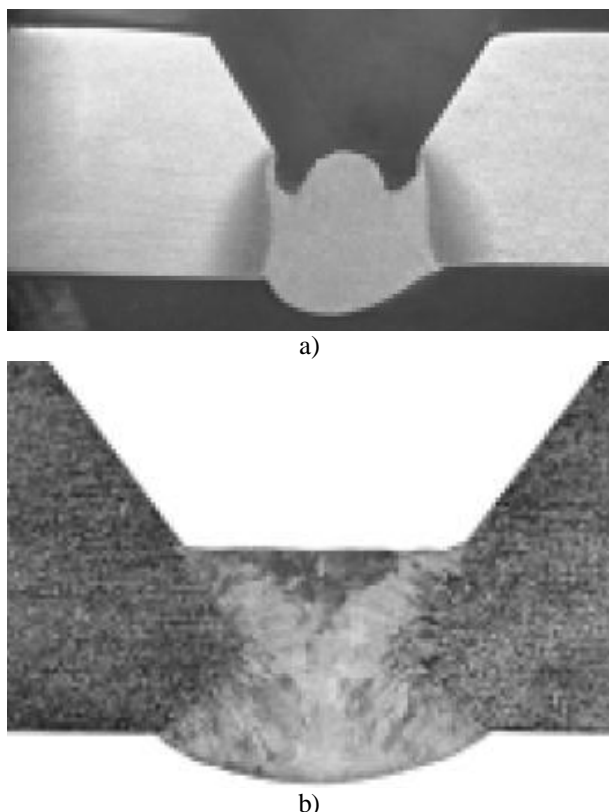


**Slika 2.** Prikaz prijelaza metala kratkim spojem [3]

Upravo način prijenosa metala (prijenos rastaljene kapljice u talinu radnog komada) koji dijelimo na prijenos metala kratkim spojevima, prijenos štrcajućim lukom, prijenos mješovitim lukom i prijenos impulsnim lukom te razvoj izvora struje za zavarivanje omogućava modifikaciju konvencionalnog postupka zavarivanja u svrhu bolje kvalitete zavarenih spojeva, veće produktivnosti i optimizacije troškova [1,2,3].

## 2. STT POSTUPAK ZAVARIVANJA (Lincoln Electric)

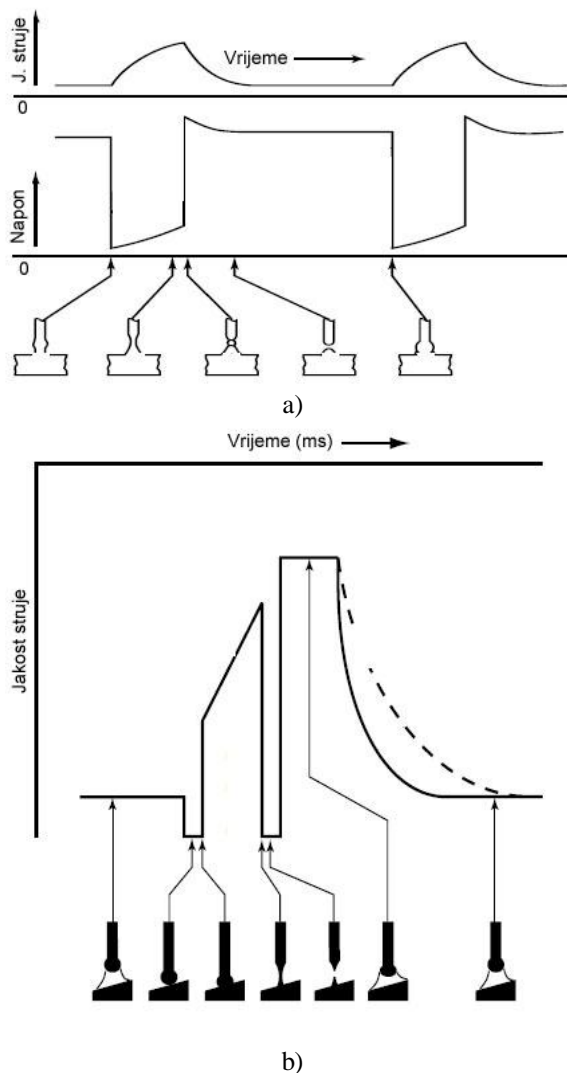
STT (Surface Tension Transfer) postupak zavarivanja razvijen je u tvrtki Lincoln Electric. Predstavlja suvremeni i učinkoviti postupak zavarivanja koji se najčešće koristi za zavarivanje korijena zvara u otvorenom žlijebu (u jednom prolazu), i to najčešće cijevnih elemenata u prehrambenoj, procesnoj i automobilske industriji. Pogodan je za zavarivanje čelika, visokočvrstih čelika te osobito kod zavarivanja nehrđajućih čelika gdje se zbog samog procesa zavarivanja CPT (Critical Pitting Temperature) mnogo uspješnije izbjegava nego kao kod klasičnog MIG zavarivanja. STT postupak zavarivanja predviđen je za zahtjevnija poluautomatska ili automatska (robotska) zavarivanja.



**Slika 3.** Izbrusak korijenskog prolaza: a) celulozna elektroda – REL; b) STT postupak – MIG/MAG [4]

STT postupak zavarivanja temelji se na prijenosu materijala kratkim spojevima, a samo odvajanje kapljice obavlja mehanizam površinske napetosti (Surface Tension Transfer). Izvor struje, uz vrlo čestu i preciznu

kontrolu struje zavarivanja, daje maksimum jakosti u trenutku kada je za prijenos metala dovoljan samo mehanizam površinske napetosti. Na taj se način izbjegava rasprskavanje kapljice metala u prijenosu i daljnji nepotreban unos topline, što bi bila posljedica povećanja jakosti struje u kratkom spoju kao što je to kod klasičnog MIG/MAG zavarivanja. Nakon odvajanja kapljice, počinje ponovo naglo povećavanje jakosti struje koje zagrijava vrh elektrode i na taj način priprema za novo odvajanje kapljice.



**Slika 4.** Prikaz dinamičke karakteristike izvora struje zavarivanja  $U, I = f(t)$  za: a) konvencionalni i b) STT postupak MIG/MAG zavarivanja [3]

STT izvor struje za zavarivanje nema ni padajuću ni ravnu statičku karakteristiku već se proces odvija ciklički, a promjene vrijednosti struje su brze (nekoliko milisekunda) te ovise o naponu u električnom luku [3, 4, 5].

Osim mogućnosti upravljanja većim brojem parametara u odnosu na klasičan MIG/MAG postupak, osnovne prednosti STT-a postupka zavarivanja su:

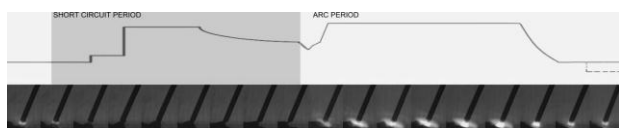
- odvajanje kapljice bez prskanja
- manji unos topline
- nizak udio difundiranog vodika
- lako rukovanje

- mogućnost zavarivanja u svim položajima
- veća brzina zavarivanja u odnosu na konvencionalni MIG/MAG postupak
- mogućnost korištenja 100% CO<sub>2</sub> kod zavarivanja ugljičnih čelika
- odlično za izvođenje korijenskih zavara u otvorenom žlijebu (zamjena za izvođenje korijenskih zavara REL postupkom celuloznim elektrodama ili izvođenje korijenskih prolaza TIG postupkom)
- laka automatizacija postupka zavarivanja

### 3. FastROOT POSTUPAK ZAVARIVANJA (Kemppi)

FastROOT postupak zavarivanja razvijen je u tvrtki Kemppi, a temelji se na digitalnom upravljanju osnovnih parametara zavarivanja – struji i naponu. Modifikacijom kratkih spojeva dobivenih digitalnim upravljanjem parametara dobiva se postupak zavarivanja pogodan za zavarivanje tankih limova (najčešće konstrukcijskih i nehrđajući čelika) kao i zavarivanje korijenskih prolaza uz veću brzinu i produktivnost s obzirom na TIG zavarivanje.

Postupak se temelji na dva različita oblika struje. U prvom dijelu procesa dolazi do prijenosa metala kratkim spojem (u rastaljenu kupku) "pinch" efektom, a nakon toga slijedi stanje (drugi interval) naglog povećavanja energije koje služi za oblikovanje spoja (zagrijavanje osnovnog materijala) i zagrijavanje vrha dodatnog materijala. Time je sve pripremljeno za stvaranje nove kapljice i za njeno odvajanje u sljedećem ciklusu. Nakon ova dva povećanja unosa energije, tj. struje zavarivanja, ista pada na minimalnu vrijednost koja omogućuje stabilnost procesa.



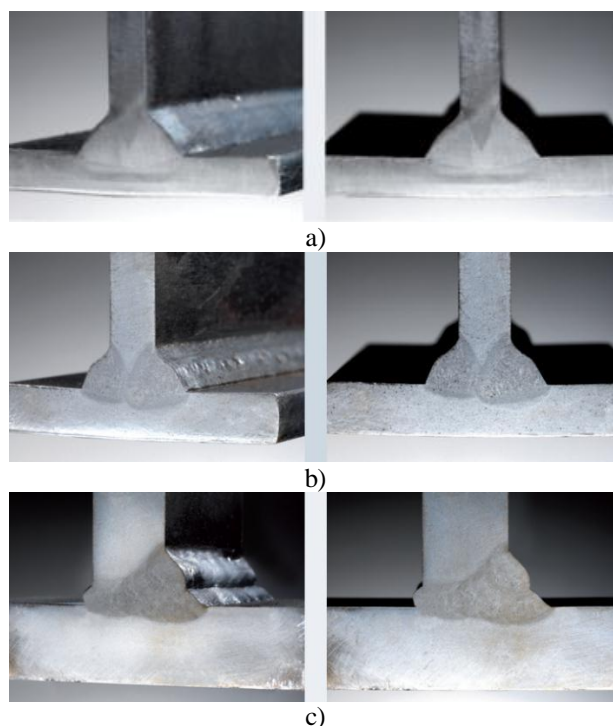
**Slika 5.** Oblik krivulje jakosti struje FastROO postupka za jedan ciklus [6]

Brzim i preciznim upravljanjem parametrima zavarivanja, a time i električnim lukom, osiguran je prijenos metala bez štrcanja uz istodobni minimalni unos topline [6, 7]. Uz pravilno namještanje osnovne struje zavarivanja i struje zavarivanja nakon odvajanja kapljice koja oblikuje zavareni spoj i brzine žice zavarivanja, ovakav postupak zavarivanja daje am sljedeće prednosti:

- niski unos energije – zavarivanje tankih limova
- mogućnost zavarivanja korijenskih prolaza
- veća produktivnost (veća brzina zavarivanja)
- olakšan rad zavarivača

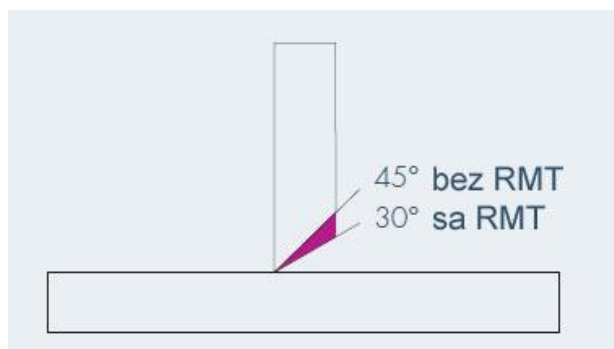
### 4. RMT POSTUPAK ZAVARIVANJA (ESS Schweisstechnik)

RMT (Rapid MIG/MAG Technology), razvijen u tvrtki ESS Schweisstechnik, je postupak koji se temelji na štrcajućem luku (štrcajućem prijenosu metala). Za razliku od klasičnog štrcajućeg luka, koji ovisi o karakteristikama dodatnog materijala i o zaštitnom plinu, kod RMT tehnologije teži se skraćivanju električnog luka, pri čemu dolazi do pada napona i povećanja koncentracije unesene energije. Na taj način električni luk se sužava, a energija električnog luka djeluje na manjoj površini, čime se dobiva veća penetracija. Zbog spomenutih karakteristika ovaj je postupak iznimno pogodan za zavarivanje debljih pozicija, a kutni zavareni spojevi debljine do 8 mm mogu se zavarivati bez posebne pripreme spoja.



**Slika 6.** Prikaz kutnog spoja izvedenog RMT postupkom (materijal – ST 37): a) d=6mm; b) d=8mm; c) d=20mm [9]

Kod većih debljina materijala kut pripreme se smanjuje sa 45° na 30° čime smanjujemo broj prolaza.



**Slika 7.** Priprema kutnog spoja kod RMT postupka zavarivanja [9]

Iako je filozofija smanjenja unosa energije za razliku od STT i FastROOT postupka drukčija, i ovdje se zbog veće penetracije, a time i manjeg broja prolaza, unosi znatno manja količina energije nego što je slučaj kod konvencionalnih MIG/MAG postupaka. To rezultira boljim spojem, manjim deformacijama (manji broj prolaza), većom brzinom zavarivanja (velika gustoća električnog luka) i znatno manjim vremenom pripreme spoja [8, 9, 10].

## 5. ZAKLJUČAK

Potaknuti sve boljom konkurencijom, ali i zahtjevima industrije (optimizacija troškova, povećanje produktivnosti, razvoj novih materijala, specifični tehnički zahtjevi itd.), proizvođači opreme i uređaja za zavarivanje primorani su ulagati u razvoj svojih proizvoda. Dokaz tome je i niz modifikacija gotovo svih postupaka zavarivanja koje su trenutačno dostupne na tržištu. Vidljivo je da se razvoj bazira najčešće na suvremenim izvorima struje za zavarivanje koji u specifičnim uvjetima daju optimalne rezultate: zadovoljavajuću kvalitetu zavarenog spoja, minimalni unos topline i nastale deformacije itd. Kako je riječ i o specifičnim uređajima i postupcima zavarivanja, prije odabira treba analizirati sve tehničke zahtjeve i isplativost ulaganja u iste jer se radi o skupim i sofisticiranim uređajima koji možda pri nekim drugim tehničkim zahtjevima neće dati bolja svojstva zavarenih spojeva, bolju produktivnost ili optimizaciju troškova s obzirom na konvencionalne uređaje, opremu i postupke.

## 6. LITERATURA

- [1] Kralj, S., Andrić, J., (1992.), *Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka*, FSB, Zagreb
- [2] Anzulović, B., (1990.), *Zavarivanje i srodni postupci*, FESB Split
- [3] *GMAW Welding Guide*, (2006.), Lincoln Electric
- [4] [www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX220.pdf](http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX220.pdf), preuzeto 03.09.2012.
- [5] [www.lincolnelectric.com/assets/en\\_US/Products/K1525-1/e452.pdf](http://www.lincolnelectric.com/assets/en_US/Products/K1525-1/e452.pdf), preuzeto 03.09.2012.
- [6] [www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/documents/0EAF654BDF3496D1C225720C0041FDF0/\\$file/ProNews\\_2\\_06\\_EN.pdf](http://www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/documents/0EAF654BDF3496D1C225720C0041FDF0/$file/ProNews_2_06_EN.pdf), preuzeto 05.09.2012.
- [7] [www.femker.ee/data/files/tootekatalogid/kemppi\\_product\\_catalogue\\_en\\_2009c.pdf](http://www.femker.ee/data/files/tootekatalogid/kemppi_product_catalogue_en_2009c.pdf), preuzeto 05.09.2012.
- [8] [www.ess-schweisstechnik.de/en/ess/news.php?cid=25](http://www.ess-schweisstechnik.de/en/ess/news.php?cid=25), preuzeto 06.09.2012.
- [9] [www.ess-schweisstechnik.de/assets/files/ess\\_rmt\\_flyer.pdf](http://www.ess-schweisstechnik.de/assets/files/ess_rmt_flyer.pdf), preuzeto 06.09.2012.
- [10] [www.ess-schweisstechnik.de/en/technologies/ess\\_rmt,388,67,111.php](http://www.ess-schweisstechnik.de/en/technologies/ess_rmt,388,67,111.php), preuzeto 07.09.2012.

### Kontakt autora:

#### Marko Horvat, dipl.ing., vanjski suradnik, asistent

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33  
42000 Varaždin  
098/793-832  
[marko.horvat@kr.t-com.hr](mailto:marko.horvat@kr.t-com.hr)

#### Veljko Kondić

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33  
42000 Varaždin  
098/844-277  
[veljko.kondic@velv.hr](mailto:veljko.kondic@velv.hr)