

ZAVARIVANJE CJEVOVODA MODIFICIRANIM MIG/MAG POSTUPCIMA

Marko Horvat, Veljko Kondić, Marko Đunder, Ivan Samardžić

Ključne riječi: zavarivanje cjevovoda, MIG/MAG postupak

Sažetak:

MIG/MAG (GMAW) postupak zavarivanja je elektrolučni postupak zavarivanja taljenjem kod kojeg se električni luk formira između kontinuirano dovodene žice (elektrode) i osnovnog materijala u zaštitnoj atmosferi inertnih/aktivnih plinova ili smjesa plinova. U radu su prikazane osnove MAG/MIG postupka zavarivanja, neke od suvremenih modifikacija MAG/MIG postupka, te primjeri prilagođenih MIG/MAG postupaka za zavarivanje cijevnih spojeva.

WELDING OF PIPELINES USING MODIFIED MIG/MAG PROCESSES

Key words: pipeline welding, MIG/MAG process,

Abstract:

MIG/MAG (GMAW) is welding process which melts and joins metals by heating them with an arc established between a continuously feed wire electrode and the metals in atmosphere by an inert active gas shield or gas mixture. This paper presents a theoretical basis of the MIG/MAG (GMAW) process, some modified procedures of this type of welding and examples of adjusted MIG/MAG (GMAW) welding process for pipelines.

1. UVOD

MIG/MAG – Metal Inert Gas/Metal Active Gas (*eng. GMAW – Gas Metal Arc Welding*) je elektrolučni postupak zavarivanja taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog ili aktivnog plina, te se smatra jednim od najzastupljenijih zavarivačkih postupaka. Iako povijest razvoja ovog postupka zavarivanja seže u 40 - te godine 20. stoljeća, potreba za povećanjem produktivnosti i kvalitete zavarivanja, odnosno zavarenih konstrukcija, doprinijela je aktivnom razvoju i modifikaciji svih postupaka zavarivanja, a posebno MIG/MAG postupka.[1- 6]

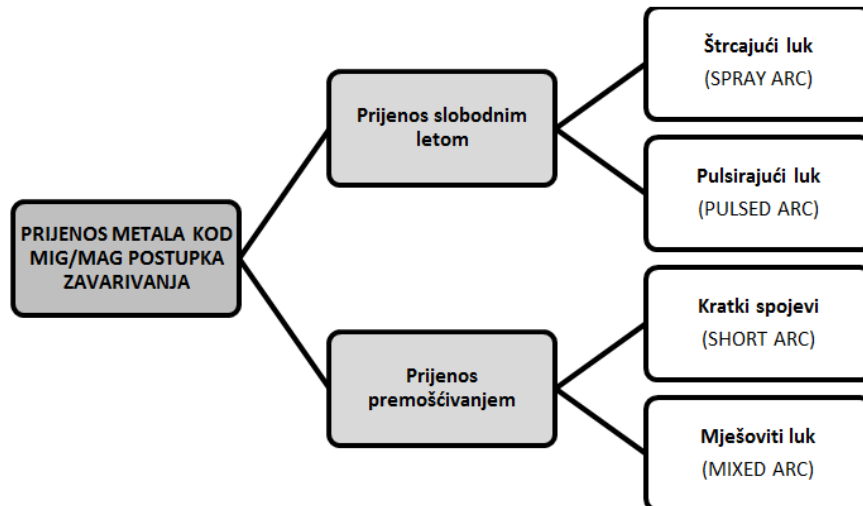
Ulaganje u razvoj postupaka zavarivanja, što za posljedicu ima i povećanje produktivnosti, posljedica je, kako navodi izvor [7], opseg proizvodnih procesa vezanih uz zavarivanje (smatra se da je u Europi gotovo 2 000 000 poslova vezano za zavarivanje),tj. proizvodnih procesa koji godišnje stvaraju dodanu vrijednost od 1600 milijardi Eura.

2. TEORIJSKE OSNOVE MIG/MAG ZAVARIVANJA

Konvencionalan MIG/MAG postupak je elektrolučni postupak zavarivanja, kod kojeg se električni luk uspostavlja između taljive, kontinuirane elektrode u obliku žice i radnog komada, u pravilu spojene na + (plus) pol istosmjernog izvora struje za zavarivanje. Proces zavarivanja odvija se u zaštitnoj atmosferi plinova koju osiguravaju inertni plinovi (Ar, He – MIG proces) ili aktivni plin CO₂ i plinskih mješavina, npr. 82% Ar + 18% CO₂ (MAG postupak). [1- 6]

Osnovni proces kod MIG/MAG postupka je prijenos metala (rastaljene kapljice) sa vrha elektrode (dodatnog materijala) na osnovni metal (zavareni spoj). Četiri su osnovna mehanizma prijenosa metala, a svi današnji modificirani postupci ovog načina zavarivanja temelje se na jednom od njih. [1- 6]

klasifikaciju mehanizama prijenosa metala prikazuje slika 1. [2]



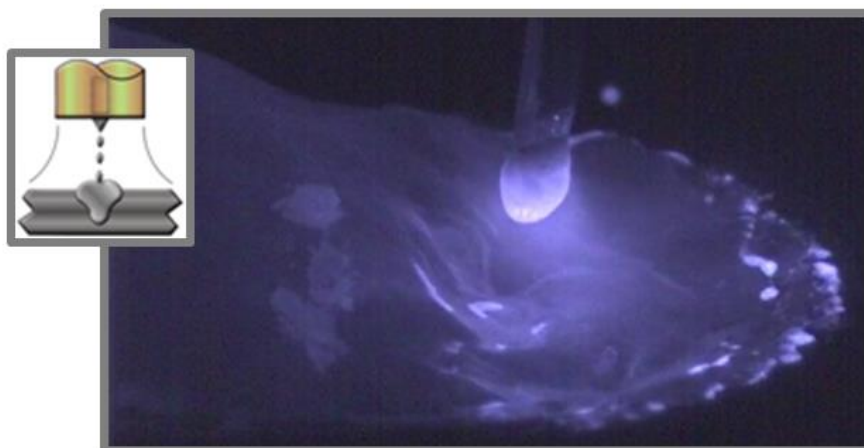
Slika 1. Osnovni mehanizam prijenosa metala kod MIG/MAG zavarivanja

Prijenos metala se ostvaruje ili kratkim spojem elektrode i radnog komada, ili se kapljica odvoji prije uspostave kratkog spoja što je omogućeno zbog velike količine energije unesene u proces. Primjena, produktivnost i kvaliteta zavarenog spoja kod MIG/MAG zavarivanja direktno ovisi o primijenjenom mehanizmu prijenosa metala.

2.1 Prijenos metala štrcajućim lukom

Kod prijenosa metala štrcajućim lukom rastaljena kapljica s vrha elektrode prenosi se slobodnim letom kroz atmosferu električnog luka. Prijenos je posljedica velike količine energije u procesu (prijenos se odvija kod visokih struja zavarivanja, npr. kod konvencionalnih MIG/MAG postupaka na strujama većim od 180 A). Veća struja zavarivanja pospješuje ostvarivanje "pinch-efekta" te smanjuje sile u električnom luku koje imaju nepovoljan utjecaj na odvajanje kapljice i njen prijenos (reaktivne sile, sile površinske napetosti).

Također, ovakav transfer metala odvija se isključivo u plinskim mješavinama s maksimalnim udjelom aktivnog plina od 18%, koje omogućavaju adekvatnu ionizaciju u stupu električnog luka. Glavna karakteristika ovakvog prijenosa metala je velika količina rastaljenog materijal u jedinici vremena. Prijenos metala štrcajućim lukom prikazuje slika 2.[1- 6]



Slika 2. Prikaz prijenosa metala štrcajućim lukom [8,9]

2.2 Prijenos metala pulsirajućim lukom

Prijenos metala pulsirajućim lukom na slici 3 okarakteriziran je prijenosom metala bez kontakta i sa smanjenim toplinskim inputom. Iznos prosječne struje zavarivanja manji je od iznosa jakosti struje zavarivanja u štrcajućem luku. Izvor struje za zavarivanje u pravilnim vremenskim intervalima mijenja struju između maksimalne vrijednosti (koja omogućuje odvajanje kapljice na vrhu elektrode) i minimalne vrijednosti (vrijednost koja održava električni luk stabilnim).

Navedene vrijednosti su ujedno i parametri zavarivanja koji se mijenjaju obzirom na zahtjeve konstrukcije, a glavna prednost ovakvog prijenosa metala je manji toplinski input u procesu, što omogućuje mogućnost primjene i na tanjim pozicijama (u odnosu na štrcajući luk). [1- 6]



Slika 3. Prikaz prijenosa metala pulsirajućim lukom [8,9]

2.3 Prijenos metala kratkim spojevima

Prijenos metala kratkim spojevima odvija se kontinuiranim dovođenjem pune žice (dodatnog materijala) ili praškom punjene žice kroz gorionik, uz uvjet da dodatni materijal ostvari fizički kontakt sa radnim komadom ili metalom zavora pri čemu dolazi do kratkog spoja. U trenutku kratkog spoja struja u procesu eksponencijalno poraste, napon pada na minimalnu vrijednost, a spomenuti porast struje osigurava dovoljnu količinu energije da se na vrhu elektrode formira rastaljena kapljica koja se prenosi na mjesto zavarenog spoja.

Ovakav transfer metala odvija se pri niskim prosječnim strujama zavarivanja, što osigurava i mali toplinski input u materijal. Spomenuti proces formiranja i odvajanja kapljice odvija se od 20 do 200 puta u sekundi, a ovisi o vrsti i karakteristikama dodatnog materijala, osnovnim parametrima zavarivanja (struja, napon, brzina žice) te o vrsti zaštitne plinske atmosfere. Prijenos materijala kratkim spojevima je prikazan na slici 4.[1- 6]



Slika 4. Prikaz prijenosa metala kratkim spojevima [8,9]

2.4 Prijenos metala mješovitim lukom

Prijenos metala mješovitim lukom je prijenos metala gdje se transfer kapljice odvija kratkim spojevima ili štrcajućim lukom, a izmjena i redosljed navedenih je nasumična pojava (slika 5). Prijenos metala se odvija uglavnom u zaštiti aktivnih plinova (rjeđe u mješavinama), a okarakteriziran je povećanim prskanjem.

Štrcajući luk uglavnom je posljedica gravitacijskih sila zbog stvaranja većih kapljica na vrhu elektrode ili njihovim spajanjem u električnom luku, što za posljedicu ima neaksijalni let istih. Ovakav prijenos metala odvija se kod nižih struja zavarivanja ili kod nedovoljne ionizacije električnog luka kod zavarivanja u aktivnim plinovima.[1 - 6]



Slika 5. Prikaz prijenosa metala mješovitim lukom [8,9]

3. MODIFICIRANI POSTUPCI MIG/MAG ZAVARIVANJA

Kao što je spomenuto u uvodu, posljednjih godina prisutan je intenzivan razvoj postupaka zavarivanja, posebno MIG/MAG postupka. Razvoj je potaknut prvenstveno željom za povećanje produktivnosti te da se osigura zahtjevana kvaliteta zavarenih spojeva. Danas na tržištu svaki ozbiljniji proizvođač izvora struje za zavarivanje posjeduje vlastite zaštićene modifikacije MAG/MIG postupka, a primjetan je i broj modifikacija koje se odnose na zavarivanje cjevovoda. Zavarivanje cjevovoda i cijevnih konstrukcija važan je segment zavarenih strojarskih konstrukcija, a prostora za razvoj MIG/MAG zavarivanja na tom području bilo je mnogo.

Naime, najvažniji prolazi u cijevnim spojevima (korijenski prolazi) uglavnom se izvode REL postupkom (celulozne elektrode) te TIG postupkom. Spomenuti postupci (ukoliko su pravilno izvedeni) daju izvrsnu kvalitetu korijenskog prolaza, no traže ozbiljniju obučenos operatera. Nadalje, oba postupka su spora i neprikladna za automatizaciju kod spomenutog primjera što su samo neki od razloga razvoja MIG/MAG postupka u svrhu zavarivanja cjevovoda i cijevnih konstrukcija. [1- 6]

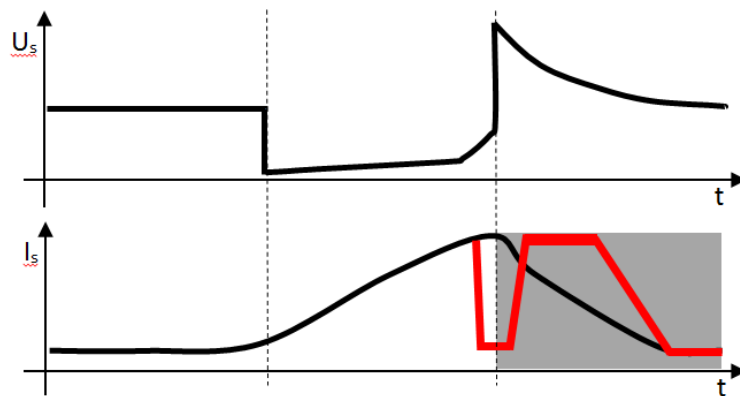
3.1 pipeSolution/MAG Orbital System (EWM Group)

pipeSolution je modificirani MIG/MAG postupak zavarivanja tvrtke EWM Group. Prvenstveno je namijenjen zavarivanju cijevnih konstrukcija te korijenskih prolaza općenito (sa i bez zračnog raspورا), a temelji se na modifikaciji prijenosa metala kratkim spojem. Osnovne karakteristike ovog postupka su: [10 - 12]

- mogućnost primjene na cijevima i limovima svih debljina
- velika brzina zavarivanja, kvaliteta zavarenog spoja usporediva s TIG postupkom
- stabilnost procesa
- primjena punih i praškom punjenih žica
- mogućnost zavarivanja u svim položajima, optimalna viskoznost taline u nadglavnom položaju zavarivanja

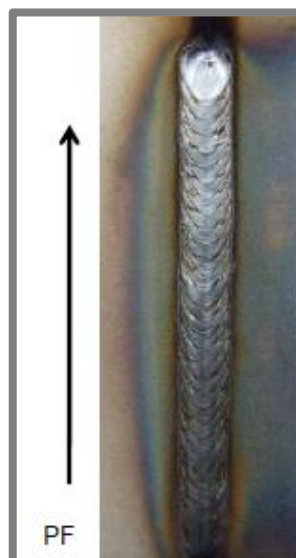
- stabilnost procesa i kod dužih paketa gorionika bez dodatnih senzora
- smanjena osjetljivost na promjenu duljine slobodnog kraja žice
- manja potreba da kvalitetnom pripremom spoja
- optimalna kombinacija sa puls postupkom (pipeSolution osigurava dobre korijenske prolaze detekcijom rubova, puls osigurava odličnu popunu)
- lakše rukovanje za operatera
- mogućnost izvođenja ručno ili automatizacija procesa
- primjena na nelegiranim, niskolegiranim, visokolegiranim i sitnozrnatim čelicima

Stabilnost procesa osigurana je kroz naprednu invertersku tehnologiju izvora struje za zavarivanje, baš kao i smanjena potrošnja energija tijekom procesa. Oscilogram procesa zavarivanja prikazan je slikom 6.



Slika 6. Oscilogram pipeSolution procesa zavarivanja [11]

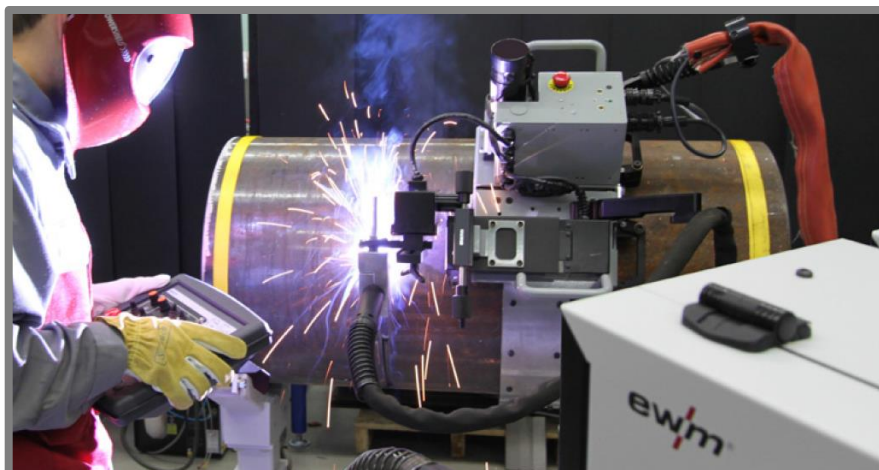
Iz oscilograma je vidljiva korekcija u procesu odvajanja kapljice. Prva dio dijagrama odnosi se na gorenje električnog luka, zatim slijedi uspostava kratkog spoja, a potom slijedi korekcija struje zavarivanja u trećoj fazi gdje dolazi do odvajanja kapljice te zagrijavanja vrha elektrode da bi se nastavak procesa nesmetano odvijao. Nagli pad, a potom i porast struje zavarivanja utječe i na napon električnog luka kojeg čini stabilnim, a kako je već spomenuto ovakav način zavarivanja preporučuje se u svim položajima, odličnu kvalitetu zavarenog spoja osigurava i u prisilnim položajima. Slika 7 prikazuje zavareni spoj u PF položaju, odozdo prema gore.



Slika 7. Primjer zavarenog spoja izveden sa pipeSolution izveden u PF položaju [10]

Navedeni proces pokazuje bolju ekonomičnost i kvalitetu zavarenih spojeva u odnosu na konvencionalne postupke, i to u ručnom ili automatiziranom procesu. Proces se lako automatizira kompatibilnim sustavom za vođenje gorionika (tzv. pipeTruck system), te zajedno čine inačicu MAG orbitalnog zavarivanja. Sustav i dalje koristi isti izvor struje za zavarivanje (EWM aplhaQ) koji u osigurava rad u pipeSolution i puls modu.

Prema podacima proizvođača, automatizirani sustav osigurava velike brzine zavarivanja (150-500 mm/min), promjere cijevi do 3400 mm i debljina stjenki do 30 mm. Slika 8 prikazuje automatizirani sustav, a tablica 1 primjer brzina zavarivanja sa pipeSolution automatiziranim postupkom. [10 -12]



Slika 8. EWM pipeSolution/pipeTruck – MAG orbital system [12]

Tablica 1. Primjer brzina zavarivanja konvencionalnim i pipeSolution/puls postupkom [10]

Izvođenje korijenskog prolaza:

Konvencionalni postupci:

21 cm/min

EWM pipeSolution

38 cm/min

Izvođenje popune:

Konvencionalni postupci:

27 cm/min

EWM puls:

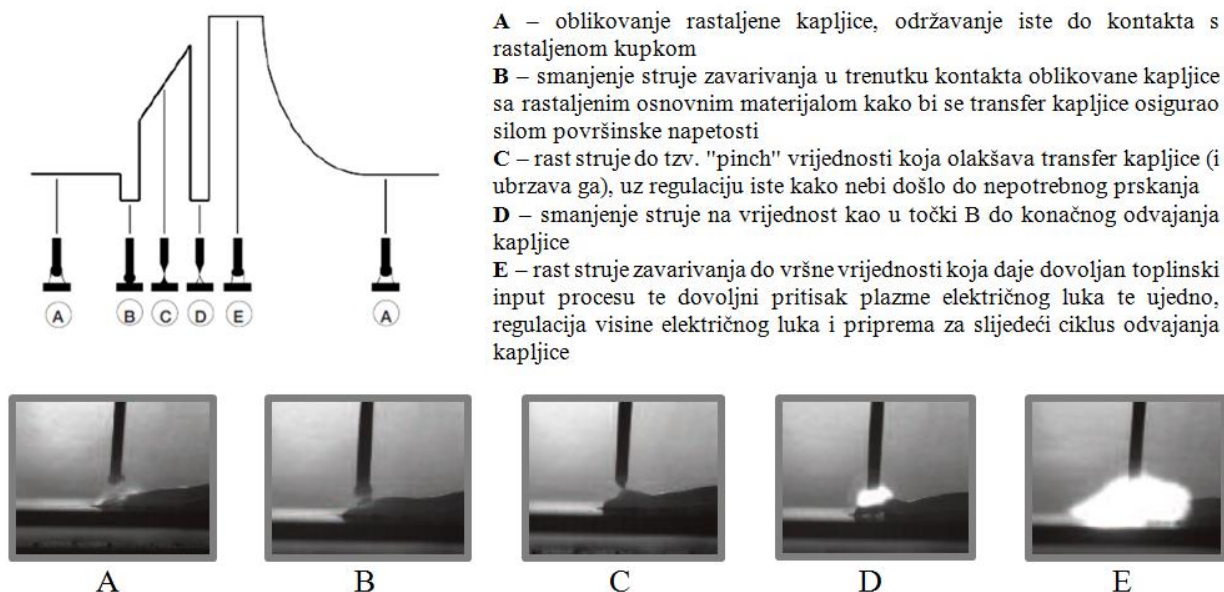
52 cm/min



3.2 MAG – STT/STT II postupak zavarivanja (Lincoln Electric)

STT postupak zavarivanja (*eng. SurfaceTension Transfer*) razvijen je u tvrtci Lincoln Electric. Poznati je i već dugo prisutni postupak zavarivanja čije je pojavljivanje na tržištu prezentirano kao revolucionarni način zavarivanja korijenskih prolaza, a pokazao se i kao odlična zamjena za REL postupak celuloznim elektrodama ili TIG postupka zavarivanja korijena zavarenog spoja.

MAG-STT postupak temelji se na modifikaciji prijenosa metala kratkim spojevima, izvor struje za zavarivanje nema ni strmopadajuću ni ravnu karakteristiku, a prijenos rastaljene kapljice potpomognut je silama površinske napetosti. Dinamička karakteristika procesa prikazana je slikom 9. [13, 14]



Slika 9. Dinamička karakteristika i princip MAG-STT zavarivanja [13]

MAG-STT postupak zavarivanja ima niz prednosti u odnosu na konvencionalne metode zavarivanja korijenski prolaza i tanjih limova od kojih se ističu: [13, 14]

- velika brzina zavarivanja, veća produktivnost
- mali unos topline,
- mogućnost zavarivanja širokog spektra materijala
- manja mogućnost pojave pogrešaka u spojevima
- odlična kontrola rastaljene kupke
- izrazito smanjenje prskanja
- mogućnost korištenja samo aktivnog plina, ali i mješavina
- mala emisija dimnih plinova
- laka izobrazba zavarivača
- mogućnost automatizacije procesa
- mali unos topline – male deformacije
- smanjena mogućnost "curenja" taline u korijenskom prolazu itd.

Danas su na tržištu MAG-STT II izvori struje za zavarivanje, inverterski visokofrekventni izvori struje za zavarivanje s naprednim *WaveformControl Technology* sustavom (tehnikom upravljanja električnim lukom). Ovakvi uređaju konstruirani su za vrhunske karakteristike zavarivanja koji znatno smanjuju mogućnost pojave pogrešaka u zavarenim spojevima, a istovremeno osiguravaju jednostavan rad uz velike brzine zavarivanja. Nadalje, uz primjenu novih rješenja, u ovom slučaju NextWeldSolutions, proizvođači opreme za zavarivanje pružaju optimalnu kombinaciju svojih proizvoda u svrhu poboljšavanja kvalitete, smanjenja troškova te povećanja učinkovitosti procesa zavarivanja. [13, 14]

4. ZAKLJUČAK

Zbog povećanja konkurentnosti na tržištu, ali prije svega i zahtjeva zavarivačke industrije (povećanje kvalitete i učinkovitosti, smanjenje troškova, razvoj tehničkih materijala, tehnički zahtjevi itd.) na tržištu izvora struje te opreme za zavarivanje vidljiv je značajan napredak u razvoju istih. U radu su ukratko objašnjene dvije modifikacije MIG/MAG procesa zavarivanja i to kod

prijenosa metala kratkim spojevima koje su prikladne za izvođenje korijenskih prolaza i popuna na cijevnim konstrukcijama.

Osim navedenih, danas su prisutne još brojne modifikacije (FastRoot, coldArc, rootArc, RMT, forceArc, CMT itd.) od kojih se neke temelje i na modifikaciji prijenosa metala štrcajućim lukom. Spomenute su prednosti pojedinog postupaka, ali tu je i najveći nedostatak istih – relativno visoka cijena opreme, zbog čega se prije nabave ovakve opreme za zavarivanje nužno moraju izvršiti analize isplativosti (tehnoloičnost) temeljem tehničkih zahtjeva konstrukcije i cijene opreme.

5. LITERATURA

- [1] Lincoln Electric Company: GMAW Welding, Cleveland, Ohio, 2006.
- [2] Kralj, S., Andrić, Š.: Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Sveučilište u Zagrebu, fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992.
- [3] Lukačević, Z.: Zavarivanje, Sveučilište Josip Juraj Strossmayer, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Slavonski Brod, 1998.
- [4] Horvat M., Kondić V., Brezovečki D.: Opravdanost primjene MAG forcearc postupka zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija, Tehnički glasnik 8, 3(2014), 288-294
- [5] Kou, S.: WeldingMetallurgy, John Wiley&Sons Inc., 2003.
- [6] Priručnik za zavarivanje – Elektroda Zagreb, Zagreb, 1987.
- [7] Rosando, T., Almeida, P., Pires, I., Miranda, R., Quintino, L.: Inovacije u elektrolučnom zavarivanju, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 1/2011, str. 23-36
- [8] <https://www.ualberta.ca/~ccwj/videos/pages/Intro%20High%20Speed/index4.html>, preuzeto (01.07.2015.)
- [9] <http://www.millerwelds.com/resources/dictionary.html>, preuzeto 01.07.2015.
- [10] http://www.schmid-schweissen.ch/docs/Schweisserwissen/D_EWM_pipeSolution_11082010.pdf, preuzeto (01.07.2015.)
- [11] http://www.weldingservices.be/downloads/nieuwe_producten.pdf, preuzeto (01.07.2015.)
- [12] [file:///C:/Users/Marko/Downloads/WM071801_pipeTruck-internet%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Marko/Downloads/WM071801_pipeTruck-internet%20(1).pdf), preuzeto (01.07.2015.)
- [13] <http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/k1525-1/e452.pdf>, preuzeto (01.07.2015.)
- [14] Garašić, I., Kralj, S., Kožuh, Z.: Suvremeni postupci zavarivanja, Zavarivanje, 53 (2011), 3/4, 61-67