

PRIMJENA REL ZAVARIVANJA U IZRADI ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

APPLICATION OF SMAW PROCESS IN THE CONSTRUCTION OF STEEL STRUCTURES

Marko Horvat, Marijan Bilić, Veljko Kondić

Stručni članak

Sažetak: Ovaj rad govori o osnovama ručnog elektrolučnog postupka zavarivanja, o njegovoj primjeni, prednostima i nedostacima. Prikazani su parametri koji utječu na proces zavarivanja ovim postupkom, zatim dodatni materijali i na kraju osvrt na tehnološki samog postupka.

Ključne riječi: REL zavarivanje, ekonomičnost, kvaliteta

Professional paper

Abstract: This paper presents the theoretical basis of manual arc welding process, its application together with its advantages and disadvantages. The paper gives an overview of basic and influential parameters this procedure has on the welding process, the review of additional materials, and the review of the procedure's technologicality.

Key words: SMAW process, cost efficiency, quality

1. UVOD

Ručno elektrolučno zavarivanje (REL, slika 1. i 2.), eng. SMAW (Shielded Metal Arc Welding; MMA – Manual Metal Arc; MMAW – Manual Metal Arc Welding; Stick Welding), je najstariji elektrolučni postupak zavarivanja. Iako je električni luk istraživao već početkom 19. stoljeća (1800. g. Davy; 1802. Petrov) REL se prvi put javlja 1882. u varijanti s ugljenom elektrodom (N.N. Bernardos). Godine 1888. N.S. Slavjanov predlaže elektrolučni postupak zavarivanja s metalnom elektrodom da bi 1907. Oscar Kjellberg patentirao obloženu elektrodu. Isprva se obložena elektroda proizvodila uranjanjem gole žice u otopinu minerala, a nakon primjene procesa ekstrudiranja u izradi obloženih elektroda (1936.) obložene elektrode cijenom postaju pristupačne. Tako ovaj postupak zavarivanja postaje najznačajniji postupak zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija. Dodatnu popularnost postupak dobiva i automatiziranom varijantom (1938. K.K. Madsen) koja je primjenjivana u japanskim brodogradilištima (gravitacijsko zavarivanje). S mjesta najčešće primjenjivog postupka zavarivanja potiskuje ga razvoj mehaniziranih postupaka zavarivanja te automatizacija i robotizacija procesa zavarivanja koja se javlja u drugoj polovici 20. stoljeća.

Bez obzira na to, REL zavarivanje i danas ima važno mjesto u proizvodnji zavarenih konstrukcija i pokazuje se kao tehnološko rješenje ako je riječ o izvođenju kraćih zavara, o pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, reparaturnom zavarivanju, zavarivanju u otežanim uvjetima rada itd. Ne osporavajući nepobitne prednosti i pogodnosti koje je donijela automatizacija i robotizacija u zavarivanju, u radu se navode primjeri tehnološke

primjene REL postupka zavarivanja koji je ujedno bio temelj za razvoj ostalih elektrolučnih postupaka. [1, 2, 3, 4]

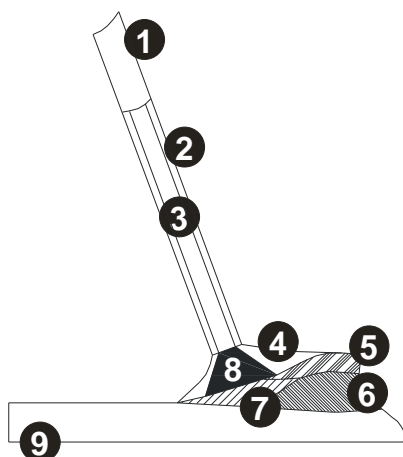


Slika 1. REL zavarivanje [5]

2. OSNOVE REL POSTUPKA ZAVARIVANJA

Kod ovog elektrolučnog postupka zavarivanja električni luk se uspostavlja kratkim spojem između elektrode (ona je ujedno i dodatni materijal) i radnog komada. Taljenjem jezgre i obloge elektrode stvara se odgovarajuća količina rastaljenog materijala, troske i plinova. Tekuća troska prekriva metalnu kap za vrijeme prolaza kapi kroz električni luk, a dodatnu zaštitu metalne kapi tvore plinovi koji nastaju disocijacijom komponenata obloge. Obloga se tali od unutarnje strane prema vanjskoj, tako da se na vrhu elektrode stvara

krater koji usmjerava struju plinova i kapi rastaljenog metala i troske prema rastaljenom osnovnom materijalu. Hlađenjem se tekući metal skrućuje, a sloj troske koji ga prekriva regulira njegovu brzinu ohlađivanja, a samim tim utječe na tijek i uvjete kristalizacije. Ravnomjernim "dodavanjem" elektrode u električni luk od strane zavarivača te njenim poprečnim gibanjem (bilo pravolinijskim kretanjem ili drugim propisanim kretanjem) na mjestu zavarivanja, nastaje zavareni spoj. Poprečno gibanje elektrode (okomito na smjer gibanja) utječe na oblik zavarenog spoja (širinu) i na količinu unesene topline u radni komad (osnovni materijal).



Slika 2. Shematski prikaz REL zavarivanja: 1 – obložena elektroda; 2 – obloga; 3 – žica; 4 – zaštitni plinovi; 5 – troska; 6 – metal zavara; 7 – rastaljeni materijal; 8 – električni luk; 9 – osnovni materijal

Uspostavljanje električnog luka provodi se kresanjem (povlačenjem elektrode) ili dodiranjem (kratkim spojem) uz odmak elektrode nakon uspostavljanja električnog luka. Prekid električnog luka izvodi se podizanjem elektrode iznad kraja zavarenog spoja ili prelaskom luka na skrnutu trosku. Nepravilno izvođenje uspostave i prekida električnog luka može izazvati pogreške u zavarenim spojevima zbog slabije zaštite mjesta zavara u tom trenutku. Najčešća mjesta pogrešaka kod ove vrste elektrolučnog zavarivanja su mjesta izvođenja nastavka zavarenog spoja. Ako se nastavak spoja izvodi uspostavom električnog luka na mjestu kratera završetka prethodnog prolaza, vjerojatnost nastanka poroznosti u spoju je velika. Pravilno izvođenje nastavka spoja izvodi se uspostavom luka na stranici žlijeba, prije završnog kratera na već položenom sloju ili ispred završnog kratera uz pomak elektrode u smjeru prethodnog spoja. [1, 2, 3]

3. PRIMJENA REL POSTUPKA ZAVARIVANJA

REL postupak zavarivanja ima široku primjenu. Najčešće se koristi kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metalnih materijala. Ipak, zbog ekonomičnosti (male brzine zavarivanja i relativno male količine depozita u jedinici vremena) primjenjuje se za izvođenje kraćih zavara ne

preko debljina većih od 15 mm kod sučeonih zavarenih spojeva te kod kraćih kutnih spojeva manje debljine zavara gdje nije potrebna pojačana penetracija u samom korijenu zavara.

Prednosti REL postupka zavarivanja:

- širok spektar dodatnih materijala
- mala cijena opreme za zavarivanje u odnosu na MIG/MAG i EP postupke zavarivanja
- pogodan za manja proizvodna i reparaturna zavarivanja
- mogućnost zavarivanja u svim položajima
- pogodan za izvođenje terenskih radova
- jednostavno rukovanje opremom
- dobra mehanička svojstva zavarenih spojeva

Nedostaci REL postupka zavarivanja:

- mala brzina zavarivanja i niska produktivnost u odnosu na MIG/MAG i EP postupke zavarivanja
- kvaliteta zavarenog spoja značajno ovisi o vještinama zavarivača
- vrijeme izobrazbe zavarivača je relativno dugo
- neizbježan otpad elektrode ("čik" – 8-10%)
- gubitak materijala zbog prskanja
- gubitak vremena zbog čišćenja troske
- nastajanje štetnih plinova i jakog bljeskanja prilikom zavarivanja
- dugotrajan rad ostavlja štetne posljedice na zdravlje zavarivača [1, 2, 3]

4. PARAMETRI ZAVARIVANJA I OSTALI UTJECAJNI FAKTORI KOD REL-a

Osnovni parametri i utjecajni faktori kod REL postupka zavarivanja su:

- jakost struje
- polaritet i vrsta struje
- brzina zavarivanja
- nagib elektrode i dužina električnog luka
- poprečna kretanja elektrode (njihanje)
- uspostava i prekid električnog luka
- položaj zavarivanja

Jakost struje zavarivanja ovisi o promjeru i tipu elektrode, vrsti spoja, debljini osnovnog materijala te o položaju zavarivanja. Povećanjem dimenzija elektrode raste i jakost struje zavarivanja (zbog potrebne veće količine topline za taljenje elektrode). Jakost struje raste s rastom točke taljenja obloge elektrode. Izbor jakosti struje također ovisi o vrsti elektrode i njene produktivnosti (visokoproduktivne elektrode trebaju veću jakost struje od onih s normalnim stupnjem iskorištenja). Kod ovog postupka zavarivanja najčešće vrijednosti struje iznose od 30 do 40 A × d – promjer [mm], odnosno 10% - 20% manje vrijednosti struje ako se radi o prisilnim položajima zavarivanja.

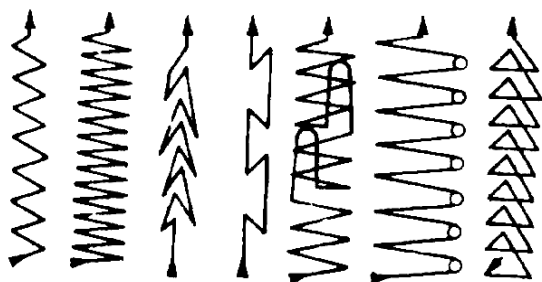
Struja zavarivanja ovisi o vrsti, odnosno oblozi elektrode kojom se zavaruje. Vrsta, polaritet i jakost struje obično se odabire prema preporuci proizvođača.

Pogrešno odabrana vrsta i polaritet struje zavarivanja može uzrokovati pogreške u zavarenom spoju (najčešće poroznost), lošu stabilnost električnog luka i pojavu povećanog prskanja. Preporučuje se da se za elektrode s bazičnom oblogom koriste istosmjerni izvori struje za zavarivanje (elektroda na + polu), dok većina ostalih elektroda može koristiti i izmjenične izvore struje za zavarivanje.

Ovisno o tehnici rada (eventualnim poprečnim kretanjima elektrode), vrsti i dimenzijama spoja, vrsti osnovnog i dodatnog materijala, jakosti struje i vrsti elektrode, ovisi i brzina zavarivanja. Također se brzina zavarivanja odabire i prema dopuštenoj količini topline koja se unosi u osnovni materijal. Tako se npr. spojevi na korozijski postojećim visokolegiranim čelicima zapravo izvode većim brzinama kako bi unos topline bio što manji i da bi se spriječile neželjene mikrostrukturne pojave koje kasnije mogu biti inicijator korozijskih procesa. Općenito, rutilno i kiselo obloženim elektrodama moguće je postići veće brzine zavarivanja u usporedbi s bazičnim elektrodama.

Nagib elektrode, dužina, (visina) električnog luka i penetracija međusobno su zavisne veličine. Većim nagibom elektrode postiže se duži električni luk (nije poželjno jer se smanjuje zagrijavanje i taljenje osnovnog materijala, zaštita taline je mala, a gubitak materijala zbog štrcanja veliki), dok kraći električni luk ima veću snagu, a time i veću penetraciju. Propisana dužina električnog luka kod kiselih i rutilnih elektroda najčešće je jednaka promjeru elektrode, dok se kod bazičnih elektroda uzima vrijednost polovice promjera elektrode. Pri zavarivanju u prisilnim položajima pravilnim nagibom elektrode zadržava se talina i na taj način se utječe na sam oblik zavarenog spoja.

Poprečna gibanja elektrode (gibanja okomita na smjer zavarivanja – njihanje) utječu na oblik zavarenog spoja i na unos topline u osnovni materijal. Odabir načina kretanja elektrode ovisi o radnim uvjetima i zahtjevima zavarenog spoja. Neka od mogućih poprečnih kretanja elektrode prikazana su na slici 3. [1, 2, 3]



Slika 3. Moguća poprečna kretanja elektrode [2]

5. KARAKTERISTIKE I ULOGA DODATNOG MATERIJALA

U postupku ručnog elektrolučnog zavarivanja primjenjuju se obložene elektrode. Obložene elektrode sastoje se od metalne jezgre (šipka, žica) i obloge (slika 4.).



Slika 4. Obložene elektrode za REL zavarivanje [6]

U proizvodnji elektroda za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika najčešće se upotrebljava vučena žica od niskougličnog čelika (max 0,1% C, udio P i S što manji), a sva potrebna legiranja su iz obloge. Kod elektroda za visokolegirane čelike upotrebljava se žica kemijskog sastava koji odgovara sastavu zavarenog spoja. Kod ovih elektroda legiranje iz obloge je minimalno.

Funkcija obloge elektrode je višestruka, a kemijski sastav obloge sastoji se iz više komponenata:

- komponente za stabilizaciju električnog luka (materijali koji snižavaju prosječni potencijal ionizacije para metala – materijali prve i druge grupe periodnog sustava elemenata: npr. kalijev i natrijev karbonat)
- komponente koje stvaraju trosku (materijali koji omogućuju nastajanje troske za vrijeme taljenja elektrode: npr. oksid, rude različitih elemenata)
- komponente za stvaranje plinova (elementi koji stvaraju zaštitne plinove: npr. organski karbonati, celuloza)
- komponente za legiranje i dezoksidaciju (metalne komponente za nadomjestak legiranih elemenata, metalne komponente s velikim afinitetom za spajanje s kisikom pri čemu nastali oksidi odlaze u trosku)
- vezivne komponente

Funkcija obloge se najčešće dijeli na:

- električnu funkciju
- metaluršku funkciju
- fizikalnu funkciju

Zadaća električne funkcije obloge elektrode je laka uspostava električnog luka te stabilnost istog. Stabilnost električnom luku daje ionizirana atmosfera između vrha elektrode i osnovnog materijala. Problem stabilnosti električnog luka kod REL-a osobito dolazi do izražaja ako se radi s izmjeničnim strujama. U tom slučaju mijenja se smjer struje i luk gasi na početku svake poluperiode. U trenutku gašenja luka pada temperatura što izaziva i rekombinaciju plinova u stupu luka. Također, snižava se temperatura katode i anode. Prethodno spomenuti materijali koji snižavaju prosječni potencijal ionizacije omogućuju lako ponovno paljenje električnog luka.

Metalurška funkcija obloge elektrode ima trostruku zadaću: legiranje, otplinjavanje i rafinacija. Metalurško djelovanje nastaje taljenjem obloge. Intenzitet i smjer metalurškog djelovanja najviše ovisi o bazičnosti troske koja je određena odnosom kiselih i bazičnih komponenata iste, što je pak posljedica oksida različitih elemenata od čega se troska sastoji. S obzirom na vrstu oksida koji sudjeluju kao komponente troske, bazičnost troske (bazicitet) može se izračunati, a na temelju

dobivenih vrijednosti određuje se kakvoća troske (bazična, kisela ili neutralna). Podatak o bazičnosti troske vrlo je važan jer izravno utječe na mehanička svojstva zavarenog spoja. Isto tako, bazičnost troske povoljno utječe i na proces legiranja metala zavara preko obloge, tj. olakšava ulazak legirnog elementa u metal zavara. Pri tome je važno znati da su elementi koji sudjeluju u legiranju najčešće oni koji se teško vežu s kisikom. Suprotno tome, elementi s jakim afinitetom vezivanja s kisikom teško ulaze u metal zavara, ali aktivno sudjeluju u procesu dezoksidacije (otplinjavanja). Funkcija rafinacije je uklanjanje sumpora i fosfora iz taline, tj. iz metala zavara. I ovaj proces je povezan s bazičnošću elektrode: što je troska bazičnija, to će i udio ovih elemenata biti manji, tj. veća količina primjesa iz taline prelazi u trosku.

Obloga elektrode ima zaštitnu funkciju. Troska nastala taljenjem obloge elektrode obavlja kapljice rastaljenog materijala i tako sprečava kontakt rastaljenog materijala s dušikom, kisikom i vodikom iz zraka za vrijeme prolaza kapljica kroz električni luk. Istu funkciju troska ima i kada stvori zaštitni "film" na metalu zavara, s time da ujedno i smanjuje njegovu brzinu ohlađivanja pa tako u znatnoj mjeri povoljno utječe na tijek kristalizacije zavarenog spoja u smislu boljih mehaničkih svojstava. Kemijskim sastavom obloge utječe se i na viskozitet te na napetost površine rastaljenih kapljica. Ova fizikalna funkcija obloge omogućava izvođenje zavarivanja u različitim prostornim položajima (npr. zavarivanje u prisilnim položajima). [1, 2, 3]

Obložene elektrode za REL zavarivanje dijele se:

- a) Prema tipu obloge:
 - a. oksidne
 - b. rutilne
 - c. kisele
 - d. bazične
 - e. celulozne
 - f. drugi tipovi
- b) Prema namjeni:
 - a. za zavarivanje
 - b. za navarivanje
 - c. za žlijebljenje i rezanje
- c) Prema tehnološkim svojstvima:
 - a. duboko penetrirajuće
 - b. visokoproduktivne
 - c. specijalne
- d) Prema debljini obloge:
 - a. tanko obložene
 - b. srednje obložene
 - c. debelo obložene
- e) Prema vrsti osnovnog materijala:
 - a. za nelegirane i niskolegirane čelike
 - b. za visokolegirane čelike
 - c. za zavarivanje sivog lijeva
 - d. za zavarivanje obojenih metala
- f) Prema dimenzijama

6. UREĐAJI I OPREMA ZA REL ZAVARIVANJE

Oprema za REL zavarivanje sastoji se od izvora struje za zavarivanje, vodiča, držača elektrode, stezaljke za masu te zaštitnih sredstava i pomoćnog ručnog alata.

Izbor struje za zavarivanje ovisi o vrsti elektrode za zavarivanje, tj. o specifikacijama proizvođača. Najbolje je koristiti izvor struje sa strmopadajućom statičkom karakteristikom koja omogućava malu promjenu jačine struje zavarivanja ovisno o promjeni dužine električnog luka. Ova karakteristika je vrlo važna kod svih elektrolučnih postupaka gdje visina električnog luka ovisi o zavarivaču i njegovim vještinama. S obzirom na dodatni materijal, moguće je koristiti izvore struje za zavarivanje koji daju izmjeničnu i istosmjernu struju s potrebnim parametrima zavarivanja. Zahvaljujući tome da su danas po cijeni vrlo prihvatljivi, u radioničkim i industrijskim uvjetima rada prevladavaju invertorski uređaji. Invertorski uređaji su izvori struje za zavarivanje malih dimenzija koji izmjeničnu struju gradske mreže pretvaraju u pulzirajuću istosmjernu struju koja se potom na oscilatoru pretvara u visokonaponsku izmjeničnu struju frekvencije i do 30 kHz. Takva struja se transformira na potreban napon zavarivanja i ispravlja se diodama. Takvom istosmjernom strujom moguće je raditi sa svim vrstama elektroda, a pol se odabire prema preporukama proizvođača. Izmjenični izvori struje za zavarivanje danas se samo koriste kao "hobby" uređaji. [1, 2, 3, 4]

7. ŽLIJEBLJENJE I OBLICI SPOJEVA

Oblikovanje žlijeba kod čeličnih konstrukcija je uz odabir elektrode i jačinu struje jedan od najvažnijih parametara kod izrade čeličnih konstrukcija. Oblik i dimenzije žlijeba ne ovise samo o debljini materijala nego i o pristupačnosti korijenu, sprečavanju pojave kapljevina, o deformacijama zavarenog spoja i utrošku dodatnog materijala.

Za limove tanje od 2 mm koristi se najčešće rubni spoj, a priprema se savijanjem rubova. "I" žlijeb se koristi za debljine od 3 do 5 mm, priprema je ravan rez materijala, a "V" žlijeb se koristi za debljine do 15 (20) mm, s nagibom žlijeba 60 °. Razmak u korijenu prilagođava se načinu izvođenja korijenskog prolaza, uvjetima zavarivanja, vrsti i dimenzijama elektrode te mogućnosti nastanka deformacija. Za materijale većih debljina koristi se "Y" i "X" (dvostruki "V") žlijeb. Na odabir žljebova utječu moguće pogreške u korijenskom prolazu i popuni te potrošnja dodatnog materijala. [1, 2, 3, 4]

8. TEHNOLOGIČNOST PRIMJENE REL ZAVARIVANJA U IZRADI ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Tehnološki zavarivani proizvodi obuhvaćaju troškove izrade zavarenog proizvoda, kvalitetu i pouzdanost te ekološke aspekte izrade zavarenog proizvoda (minimalan utrošak energije i materijala, mogućnost recikliranja i ekološkog zbrinjavanja proizvoda itd.).

Troškovi izrade zavarenog proizvoda mogu se razmatrati sa stajališta glavnih troškova izrade (oprema, energija,

dotadni materijal, plaća operatera) i vremena potrebnog za izradu zavarenog proizvoda ili konstrukcije. Ukupno trajanje zavarivanja sastoji se od pripremno-završnog vremena i glavnog vremena (vrijeme zavarivanja). Kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje pripremno-završno vrijeme ima značajan utjecaj u ukupnom vremenu zavarivanja, dok kod serijske proizvodnje to vrijeme može iznositi samo 2 % ukupnog vremena zavarivanja. Faktori koji utječu na pripremno-završno i glavno vrijeme kod zavarivanja su tehnološki i organizacijski. Kod pripremno-završnog vremena najčešće su to složenost konstrukcije, oprema za zavarivanje, ponovljivost radova, organizacija radnog mjesta, mjesto izvođenja zavarivačkih radova itd. Faktori koji utječu na osnovno ili tehnološko (glavno) vrijeme zavarivanja su vrsta i debljina osnovnog materija, vrsta i priprema žlijeba, redosljed spajanja, prostorni položaj šava, položaj zavarivača prilikom izvođenja zavarivanja, tip i dimenzije elektrode itd. Kod primjene celuloznog tipa obložene elektrode može se primijeniti silazna tehnika zavarivanja i na taj način se postiže bolja produktivnost i smanjenje tehnološkog vremena zavarivanja. Na slici 5. je prikazano REL zavarivanje čeličnih plinovodnih cijevi silaznom tehnikom, uz primjenu celuloznog tipa elektrode.



Slika 5. REL zavarivanje cjevovoda celuloznom elektrodom (silazna tehnika)

Kod REL postupka zavarivanja pripremno-završno vrijeme je kraće u odnosu na automatska i robotska zavarivanja, što dolazi do izražaja kao osnovna prednost kod kraćih zavara na relativno tanjim limovima i pojedinačne, odnosno maloserijske proizvodnje. U suprotnom slučaju prednost je na automatskom i robotiziranom zavarivanju (robotizirano zavarivanje kod fleksibilnih proizvodnih programa i serijske proizvodnje, dok automatski postupci zavarivanja dolaze do punog izražaja kod velikoserijske proizvodnje i kada se traži visoka učinkovitost zavarivanja s obzirom na količinu depozita i/ili brzinu zavarivanja). Dakle, kod profesionalnih i industrijskih zavarivanja i serijske proizvodnje REL postupak zavarivanja je skup i spor. Iako se pripremno-završno vrijeme može svesti na minimum, pomoćna vremena (zamjena elektroda, pregledi i čišćenje rubova, čišćenje troske itd.) koja sudjeluju u ukupnom vremenu procesa zavarivanja su velika što daje lošu produktivnost. Isto tako, količina depozita (količina dodatnog materijala u kg/h) je i

višestruko puta manja nego kod nekih drugih postupaka elektrodučnog zavarivanja (npr.: REL - elektroda Ø3,25 - 1,5 kg/h; MAG PPŽ - žica Ø1,2 – 6 kg/h). Uz to, obuka zavarivača je dugotrajna i skupa. Ipak, mala pripremno-završna vremena, jednostavna oprema, univerzalnost postupka te veliki spektar dodatnog materijala daju potpunu opravdanost izbora REL zavarivanja u većini slučajeva pojedinačne (komadne) proizvodnje, a osobito u slučajevima reparaturnog zavarivanja i navarivanja. [1, 2, 3, 4]

9. ZAKLJUČAK

Iako je od prve primjene ručnog elektrodučnog postupka zavarivanja prošlo više od 130 godina, ovaj postupak, uz neke manje modifikacije te uz njegovu pravilnu primjenu, upotrebljava se i danas. Osnove procesa ostale su iste, a modifikacije su posljedica razvoja dodatnih materijala i/ili opreme (najčešće se to odnosi na razvoj izvora struje za zavarivanje). Pod pravilnom primjenom smatra se odabir REL zavarivanja u uvjetima kada je ekonomičan i tehnološki. Ekonomičnost procesa se utvrđuje računskim simulacijama u skladu s potrebama konstrukcija (izračuni na osnovi složenosti konstrukcije, veličinu serije itd.). Na ekonomičnost procesa utječu cijena opreme i cijena dodatnih materijala (elektroda). Tehnologičnost postupka opravdana je mogućnošću primjene REL postupka zavarivanja na gotovo svim metalnim materijalima i njegovim legurama, laka prilagodljivost na specifične i otežane uvjete rada, višestruka namjena procesa (zavarivanje, navarivanje, žlijebljenje i rezanje), dostupnost opreme i dodatnih materijala, jednostavna primjena u terenskim uvjetima, kvaliteta zavarenog spoja itd. Bez obzira na neke veće nedostatke samog postupka, sigurno je da će REL zavarivanje i dalje imati široku primjenu kao važan način zavarivanja i navarivanja istorodnih i raznorodnih metalnih materijala.

10. LITERATURA

- [1] Kralj, S.; Andrić, Š.: Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1992.
- [2] Lukačević, Z.: Zavarivanje, Strojarski fakultet – Slavonski Brod, Slavonski Brod, 1998.
- [3] Priručnik za zavarivanje, Elektroda Zagreb, Zagreb 1987.
- [4] Inženjersko tehnički priručnik – Zavarivanje I, II, III, IV, Biblioteka tehničke literature, Beograd, 1979.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Shielded_metal_arc_welding (Dostupno 02.05.2013.)
- [6] <http://www.harrisweldingsupplies.com/e6011-stick-electrodes-332-5lbs.aspx> (Dostupno 02.05.2013.)

Kontakt autora:

Marko Horvat, dipl. ing.

Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33
42000 Varaždin
e-mail: marko.horvat@velv.hr

Marijan Bilić (student)

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4
43000 Bjelovar

Veljko Kondić, ing.

Preloška 1a
42000 Varaždin
e-mail: veckon@hi.t-com.hr