

PRIMJENA ELEKTROLUČNOG ZAVARIVANJA SVORNJAKA U IZRADI SPREGNUTIH KONSTRUKCIJA

Horvat M.¹, Brezovečki D.²

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

²Bajkmont d.o.o., Sesvete, Hrvatska

Sažetak: Postupak elektrolučnog zavarivanja svornjaka pripada visokoučinkovitim postupcima zavarivanja. Iako poluautomatski, zavarivanje svornjaka različitih promjera, najčešće 6-25 mm, izvodi se u vrlo kratkom vremenu (do 1 s) s kratkim pripremno-završnim vremenima. To mu daje veliku prednost u odnosu na konvencionalne elektrolučne postupke zavarivanja u izradi nosivih konstrukcija. Dodatne prednosti postupka su i mogućnost primjene u radioničkim, ali i terenskim uvjetima rada, te kvaliteta zavarenog spoja. Smatra se da je investiranje u elektrolučno zavarivanje svornjaka prilikom izrade spregnutih konstrukcija opravdano već nakon 25 000 zavarenih spojeva.

Ključne riječi: nosive konstrukcije, elektrolučno zavarivanje svornjaka, parametri zavarivanja, mehanička svojstva

Abstract: The process of arc stud welding belongs to the high-performance welding process. Although semi-automatic, stud welding of different diameters, mostly 6-25 mm, is performed in a very short time (up to 1 s) with short preliminary-final times. That gives it a big advantage compared to conventional arc welding processes in the development of bearing structures. Additional benefits of the procedure are its applicability in a workshop and field conditions, and the quality of welded joints. It is believed that investing in arc stud welding is justified when creating composite structures already after 25 000 welds.

Key words: bearing structures, arc stud welding, welding parameters, mechanical properties

1. UVOD

Sprezanje je konstrukcijsko spajanje dva različita materijala u jednu cjelinu – spregnuti presjek. U području građevinskih konstrukcija primjenjuje se sprezanje čelika i betona, betona različite kvalitete, betona i drveta, čelika i drveta itd. Ipak, pod pojmom spregnutih konstrukcija najčešće se podrazumijevaju spregnuti elementi od čelika i betona, s obzirom na to da se ovaj način sprezanja najčešće koristi. Primjena spregnutih konstrukcija čelik-beton vezana je za izradu mostova, početkom 20. stoljeća. Danas se, osim u mostogradnji, ove konstrukcije vrlo često koriste u izradi spregnutih nosača i stupova, spregnutih međukatnih konstrukcija na profiliranim

limovima te u izradi višekatnih zgrada. Osnovna prednost spregnutih konstrukcija je smanjenje mase za 50-60% u odnosu na armiranobetonske konstrukcije, što rezultira ekonomičnošću, ali i boljom zaštitom od požara. [1,2]

2. ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE SVORNJAKA

Elektrolučno zavarivanje svornjaka (eng. Arc stud welding, njem. Bolzenschweissen) je visoko učinkoviti postupak zavarivanja koji se vrlo često koristi u izradi spregnutih konstrukcija. Uspješna primjena elektrolučnog zavarivanja svornjaka u ovakvim konstrukcijama svodi se na zavarivanje svornjaka (u ovom radu tzv. "moždanika") na glavne nosače konstrukcije (profilne nosače, profilirane limove itd.). Oni nakon postavljanja betonske ploče omogućuju njeno sidrenje, tj. sprečavaju smicanje ili podizanje od osnovne čelične konstrukcije. [2,3]



Slika 1. Zavareni svornjak s glavom (moždanik) [4]

Ovaj postupak počeo se primjenjivati u brodogradnji. Iako se još i danas vrlo rijetko koristi u proizvodnim pogonima, postupak je našao široku primjenu u brodogradnji, kotlogradnji, građevinarstvu, automobilskoj industriji itd. Općenito, ovakvim postupkom, osim svornjaka, zavaruju se različiti oblici vijaka, nosača, spojnih elemenata, držača itd. (slika 2.).



Slika 2. Uzorci elemenata primjenjivih u elektro-lučnom zavarivanju svornjaka [4]

Iako postoji više izvedbi elektro-lučnog zavarivanja, najčešće se koristi poluautomatski postupak sa zaštitnim keramičkim prstenom, što se i željelo naglasiti u ovome članku. Prilikom zavarivanja većeg broja svornjaka (što je slučaj primjene ovog postupka u spregnutim konstrukcijama), postupak se pokazao tehnološkim iz dva osnovna razloga:

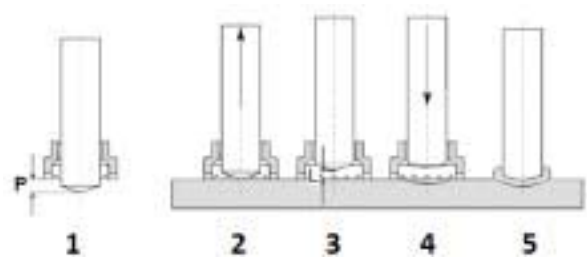
1. jednostavno rukovanje opremom
2. brzo i kvalitetno zavarivanje [2,3]



Slika 3. Primjer zavarenih svornjaka na nosećim gredama međukatne konstrukcije

3. OPIS POSTUPKA ZAVARIVANJA

Postupak elektro-lučnog zavarivanja svornjaka vrlo je jednostavan. Kod poluautomatskog načina rada u pištolj za zavarivanje, koji je sastavni dio samog uređaja za zavarivanje, ručno se stavlja svornjak, a potom se na njega stavlja keramički prsten. Nakon toga se pištolj oslanja na radni komad tako da keramički prsten leži okomito na radnom komadu. Puštanjem struje u točno definiranom trajanju, uspostavlja se električni luk, potom se svornjak malo odigne od radnog komada u svrhu što kvalitetnijeg zagrijavanja i taljenja materijala na mjestu spoja. Nakon toga se svornjak postiskuje (upucava) u osnovni materijal, dajući zavarenom spoju konačan oblik.

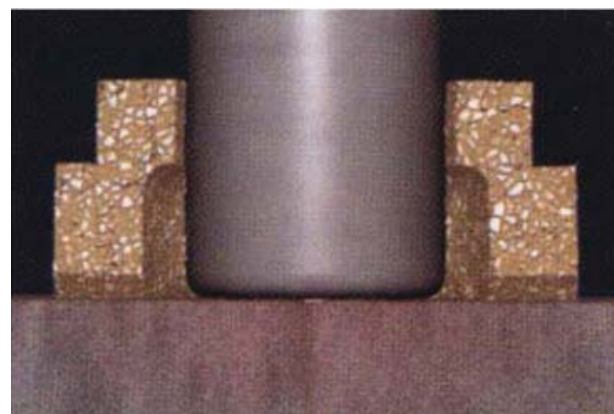


Slika 4. Shematski prikaz faza zavarivanja svornjaka [5]

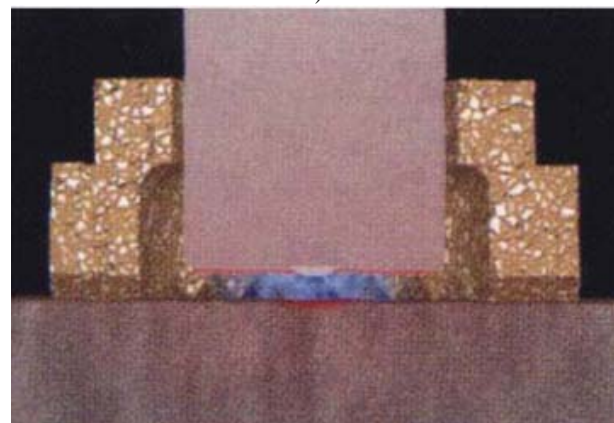
Slika 4. pojednostavljeno prikazuje osnovne faze zavarivanja, a to su:

1. Stavljanje svornjaka u pištolj za zavarivanje s keramičkim prstenom na razmaku P (vrijednost prednapreznja opruge)
2. Oslanjanje svornjaka na osnovni materijal i uspostava primarnog električnog luka
3. Podizanje svornjaka i uspostava sekundarnog električnog luka
4. Prestanak djelovanja električnog luka i "upucavanje" svornjaka
5. Zavareni svornjak nakon odstranjivanja keramičkog prstena. [5]

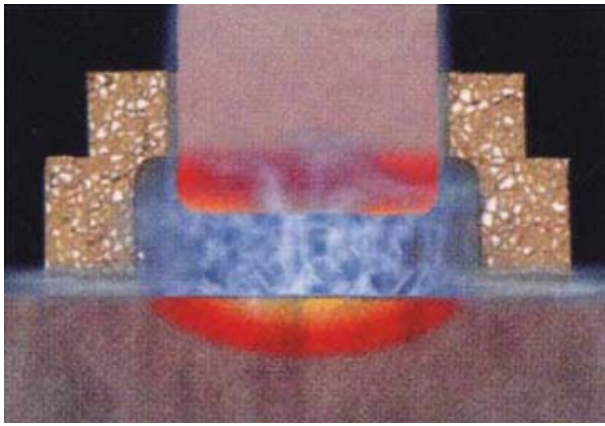
Ovim postupkom zavarivanja svornjaka postiže se vrlo dobar spoj (zavareni spoj formira se po cijelom poprečnom presjeku svornjaka), uz istodobno mali unos topline u zavareni spoj u usporedbi s klasičnim elektro-lučnim postupcima zavarivanja. Vremenski ciklus gorenja električnog luka najčešće je manji od 1 sekunde. Sam proces zavarivanja završava uklanjanjem keramičkog prstena (lagani udarac čekićem). Postupak zavarivanja svornjaka prikazan je na slici 5.



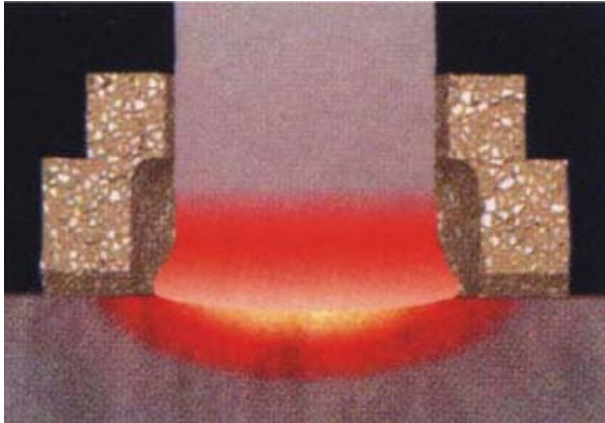
a)



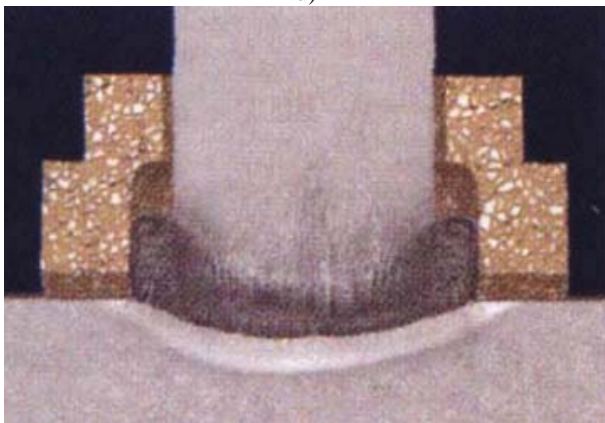
b)



c)



d)



e)

Slika 5. Postupak zavarivanja svornjaka: a) namještanje svornjaka na radni komad; b) uspostava primarnog električnog luka; c) podizanje svornjaka i uspostava sekundarnog električnog luka; d) "upucavanje" svornjaka; e) zavareni spoj prije izbijanja keramičkog prstena [4]

4. OPREMA ZA ZAVARIVANJE I PARAMETRI ZAVARIVANJA

Poluautomatski uređaj za zavarivanje svornjaka sastoji se od dijelova:

1. izvor struje za zavarivanje
2. upravljačka jedinica
3. pištolj za zavarivanje
4. zavarivački kablovi.

U nastavku je prikazan uređaj za zavarivanje ELOTOP 3002, proizvođača Köster & Co. GmbH.



Slika 6. Uređaj za elektrolučno zavarivanje svornjaka ELOTOP 3002 i pripadajući pištolj za zavarivanje

Izvor struje za zavarivanje je trofazni transformator upravljani tiristorski, a daje istosmjernu struju zavarivanja u području od 300 do 2600 A. Statička karakteristika uređaja je strmopadajuća, s naponom praznog hoda od $U_0=95$ V. Uređaj za zavarivanje može regulirati jakost struje zavarivanja i trajanje zavarivanja, a vezu između ovih parametara preporučuje sam proizvođač opreme dijagramskim prikazom. Osnovne karakteristike uređaja za zavarivanje dane su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovne karakteristike uređaja za zavarivanje ELOTOP 3002 [6]

Područje promjera svornjaka:	6-25 mm
Maksimalna jakost struje:	3500 A
Područje jakosti struje zavarivanja:	300-2600 A
Max. učinak zavarivanja (svornjak Ø25mm):	6kom/min
Priključni napon (50 Hz):	230/400 V
Napon praznog hoda:	95 V
Intermitencija:	8%-2600 A, 100%-720 A
Trajanje zavarivanja:	100-2000 ms
Klasa zaštite:	IP 23
Dimenzije uređaja:	960×610×625 mm
Masa uređaja:	355 kg

Osim dva spomenuta parametra zavarivanja (jakost struje zavarivanja i trajanje zavarivanja), postoje još dva dodatna koji se reguliraju na pištolju za zavarivanje, a to su odmak keramičkog prstena od vrha svornjaka "P" koji definira prednapretnje opruge u pištolju, te vrijednost "L", tj. vrijednost podizanja svornjaka od radnog komada

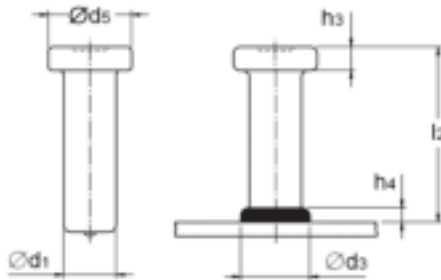
nakon uspostavljanja primarnog električnog luka, u svrhu ravnomjernog taljenja svornjaka i dodatnog materijala. Osnovni parametri zavarivanja definirani su normom EN ISO 14555, a uključuju sljedeće:

- Polaritet:** svornjak se stavlja na (-) pol, DC
- Struja zavarivanja:** orijentacijski se računa prema formuli $I (A) = 90 \times d$ (mm) za svornjake $d > 16$ mm, odnosno $I (A) = 80 \times d$ (mm) za svornjake $d < 16$ mm
- Napon električnog luka:** ovisi o parametru L, ali se kreće od 20 do 40 V
- Trajanje zavarivanja:** računa se prema $t_w (s) = 0,04 \times d$ (mm) za svornjake $d > 12$ mm, odnosno $t_w (s) = 0,02 \times d$ (mm) za svornjake $d < 12$ mm
- Podizanje svornjaka:** vrijednost L proporcionalna je promjeru svornjaka, te se kreće u granicama od 1,5 do 7 mm. [7]

5. OSNOVNI I POMOĆNI MATERIJAL

Geometrija (dimenzije) svornjaka s glavom za primjenu u spregnutim konstrukcijama propisani su normom DIN EN ISO 13918. Slika 7. prikazuje dimenzije svornjaka s glavom prije i nakon zavarivanja. Osim geometrije, proizvođač atestom garantira:

- kvalitetu materijala (kemijski sastav)
- minimalnu vlačnu čvrstoću
- granicu razvlačenja
- istežljivost
- tehnologiju izrade
- stanje površine, eventualni zaštitni premazi
- ostalo [8]



Slika 7. Geometrija svornjaka (moždanika) propisana normom EN ISO 13918 [5]

Uz svornjake isporučuju se i jednokratni keramički prstenovi (pomoćni zaštitni materijal). Uloga zaštitnog prstena je sljedeća:

- zaštita mjesta zavarivanja od atmosfere
- oblikovanje zavarenog spoja
- koncentracija električnog luka i smanjenje brzine hlađenja

6. NORME I VERIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA

Opisani postupak elektrolučnog zavarivanja moždanika propisan je normom EN ISO 14555. Osim parametara zavarivanja danih ovom normom, u obzir se uzimaju i

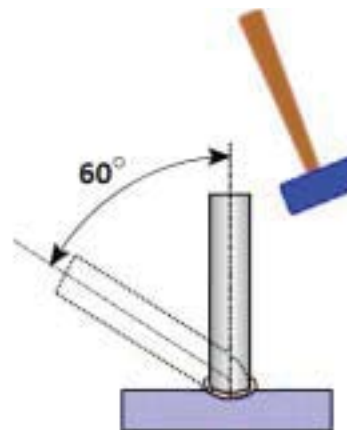
vrijednosti parametara danih preporukama proizvođača osnovnog i pomoćnog materijala te opreme za zavarivanje. Nakon odabranih parametara zavarivanja pristupa se izradi pWPS, odnosno preduputi za zavarivanje. Osnovni podaci dani u pWPS listi za elektrolučno zavarivanje svornjaka su:

- norma
- postupak zavarivanja
- položaj zavarivanja
- tip zavarivanja
- osnovni materijal/tip
- predgrijavanje
- toplinska obrada
- skica oblika spoja i redosljeda zavarivanja
- parametri zavarivanja (vrsta struje zavarivanja, jakost struje zavarivanja, vrijeme zavarivanja, P, L, oblik, vrsta i dimenzije svornjaka)
- materijal svornjaka
- vrsta spoja
- tip zaštite
- čišćenje. [9]

Na temelju podataka iz pWPS-a, pristupa se izradi PQR-a (Procedure Qualification Record), tj. atestu postupka zavarivanja. Svrha ispitivanja je provjera zavarivanja 783 prema HRN ISO 4063:2001 - Elektrolučno zavarivanje svornjaka s podizanjem u zaštiti keramičkog prstena ili plina, prema HRN EN 14555:1999. Primijenjene metode i opseg ispitivanja je sljedeći:

- vizualno ispitivanje
- ispitivanje ultrazvukom
- vlačno ispitivanje
- ispitivanje savijanjem
- ispitivanje makro presjeka zavara

Vizualno ispitivanje obavlja se prema normama HRN EN 970, HRN EN 25817, a utvrđuju se nedopuštene pogreške zavarivanja ili oblika zavarenog spoja. Ultrazvučno ispitivanje obavlja se prema HRN EN 1435/A1:2003, a vlačno i ispitivanje savijanjem prema HRN EN 895, odnosno HRN EN 14555. Shematski prikaz probe savijanjem prikazuje slika 8., a proba vrijedi ukoliko se ne pojave pukotine u zoni zavarenog spoja. Slika 9. pokazuje uzorke prije i nakon ispitivanja. [10]



Slika 8. Ispitivanje kvalitete zavara savijanjem prema normi EN ISO 14555 [5]



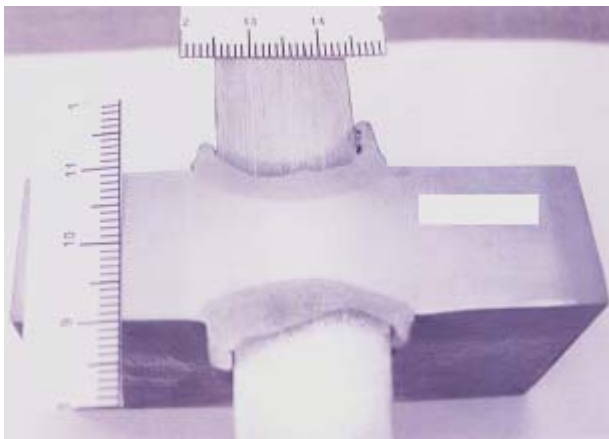
a)



b)

Slika 9. Prikaz uzoraka: a) zavareni uzorci prije probe savijanjem; b) Uzorci nakon probe savijanjem i uzorak nakon vlačnog kidanja [10]

Norma EN ISO 14555 ne dopušta postojanje pukotina u zavarenom spoju, ali su dopuštene pojedinačne, odnosno površinske pogreške čije veličine ovise o veličini zavarenog svornjaka. Norma također propisuje dopuštenu veličinu pora te oblik i neravnomjernost zavara.



Slika 10. Izbrusak zavarenog spoja svornjaka [10]

7. ZAKLJUČAK

Danas u vrijeme sve većih investicija u graditeljstvu (cestogradnja, mostogradnja, međukatne konstrukcije itd.) primjena elektrolučnog zavarivanja svornjaka nameće se kao primarni postupak u zavarivanju svornjaka (moždanika) na čelične konstrukcije u svrhu izrade spregnutih konstrukcija. Postupak odlikuje vrlo visoka produktivnost (moguće je zavariti 6 svornjaka

promjera 22 mm u jednoj minuti), ali i fleksibilnost (mogućnost zavarivanja različitih vrsta svornjaka, vijaka, nosača itd.). Nadalje, postupak je pogodan za zavarivanje u proizvodnim pogonima, ali i u terenskim uvjetima rada. Osim spomenutih prednosti, primjena ovog postupka rezultira i vrlo dobrom kvalitetom zavarenog spoja (zavareni spoj formira se po cijelom poprečnom presjeku svornjaka), što je velika prednost u odnosu na klasične postupke zavarivanja kao što su REL ili MAG postupak. Današnja sofisticirana oprema i izvori struje za zavarivanje omogućavaju kontrolu nad parametrima zavarivanja, pa to dodatno garantira malu mogućnost za pogreške u zavarenim spojevima, uz istodobno jednostavno rukovanje opremom. S obzirom na broj zavarenih spojeva moždanika u spregnutim konstrukcijama, uvođenje ovakvog načina zavarivanja opravdano je i s aspekta ekonomičnosti, čime je zaokružena tehnološkičnost spomenutog zavarivanja.

8. LITERATURA

- [1] Sulyok-Selimbegović M., (2003), *Čelične konstrukcije*, Golden marketing, Zagreb
- [2] Brzica R., Juzvišen I., Samardžić I., Klarić Š., Šimović L., (2007), *Elektrolučno zavarivanje svornjaka u mostogradnji, 4. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje – Tehnološkična primjena postupka zavarivanja i zavarivanju srodnih tehnika u izradi zavarenih konstrukcija i proizvoda*, Slavonski Brod, 315-324
- [3] Samardžić I., Klarić Š., Kladarić I., (2008), *Utjecaj parametara zavarivanja i toplinske obrade na svojstva zavarenog spoja kod elektrolučnog zavarivanja svornjaka*, *Zavarivanje*, 51 - 5/6, 185-194
- [4] Köster & Co. GmbH, *Stud welding - katalog* <http://www.bolzenschweisstechnik.de/en/downloadcenter>, dostupno: 04.05.2011.
- [5] Köster & Co. GmbH, *Bolzenschweissen in Übereinstimmung mit DIN EN ISO 1455*, <http://www.bolzenschweisstechnik.de/en/downloadcenter>, dostupno: 04.05.2011.
- [6] Köster & Co. GmbH, *KÖCO - Compact Stud Welding Equipment – ELOTOP 3002 - katalog*, <http://www.bolzenschweisstechnik.de/en/downloadcenter>, dostupno: 04.05.2011.
- [7] Tehnička dokumentacija tvrtke Bajkmont d.o.o., (2005), Norma EN ISO 14555 Arc stud welding
- [8] Tehnička dokumentacija tvrtke Bajkmont d.o.o., (2005), Norma EN ISO 13918 Studs and ceramic ferrules for arc stud welding
- [9] Tehnička dokumentacija tvrtke Bajkmont d.o.o., (2009), *Welding procedure specification (WPS)*
- [10] Tehnička dokumentacija tvrtke Bajkmont d.o.o., (2005), *Izveštaj o atestu postupka (PQR)*