



ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE SVORNJAKA U MOSTOGRADNJI STUD ARC WELDING IN BRIDGE CONSTRUCTION INDUSTRY

Ruža BRZICA ¹⁾, Igor JUZVIŠEN ¹⁾, Ivan SAMARDŽIĆ ²⁾, Štefanija KLARIĆ ²⁾,
Luka ŠIMOVIĆ ³⁾

Ključne riječi: elektrolučno zavarivanje svornjaka, mostogradnja, parametri zavarivanja

Key words: stud arc welding, bridge building, welding parameters

Sažetak: U radu se obrazlažu postupak elektrolučnog zavarivanja svornjaka (moždanika) u mostogradnji. Ovaj postupak zavarivanja je poluautomatski postupak, no tehnologičan je upravo za zavarivanje moždanika u mostogradnji. Na primjeru atestnih uzoraka daje se prikaz fotografija presjeka zavarenog spoja, te pripadajuće vrijednosti tvrdoće u zavarenom spoju.

Abstract: Paper presents stud arc welding process application in bridge construction industry. This welding process is semiautomatic, but it is cost effective process for studs welding in bridge construction industry. On test example specimen, the photography of weld joint macro view and appropriate weld joint hardness values are given.

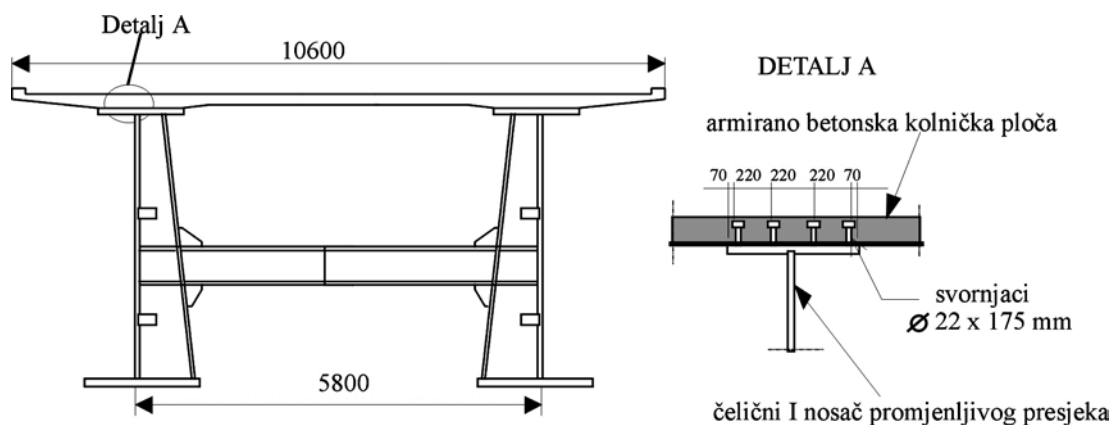
¹⁾ Đuro Đaković Montaža d.o.o., Dr. Mile Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Croatia

²⁾ Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Trg Ivane Bričić-Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod

³⁾ student Strojarskog fakulteta u Slavonskom Brodu

1. UVOD

Elektrolučno zavarivanje svornjaka je visokoučinski postupak zavarivanja koji se vrlo često koristi u izradi čeličnih mostova. To je tehnološki postupak zavarivanja pogodan za zavarivanje tzv. "moždanika" na lamele glavnih nosača preko kojih se kasnije nanosi betonska ploča. "Moždanici" sprečavaju podizanje betonske ploče od čelične nosive konstrukcije, tijekom vijeka eksploatacije mosta. Na slici 1 se shematski prikazuje karakteristični presjek nosača mosta sa elektrolučno zavarenim svornjacima ("moždanicama").



Slika 1. Karakteristični presjek poprečnog nosača mosta sa zavarenim svornjacima [1]

Na jednom mostu se zavaruje veliki broj svornjaka, pa se za kao primjer navodi nekoliko mostova na kojima su zavareni svornjaci različitih dimenzija. [2]

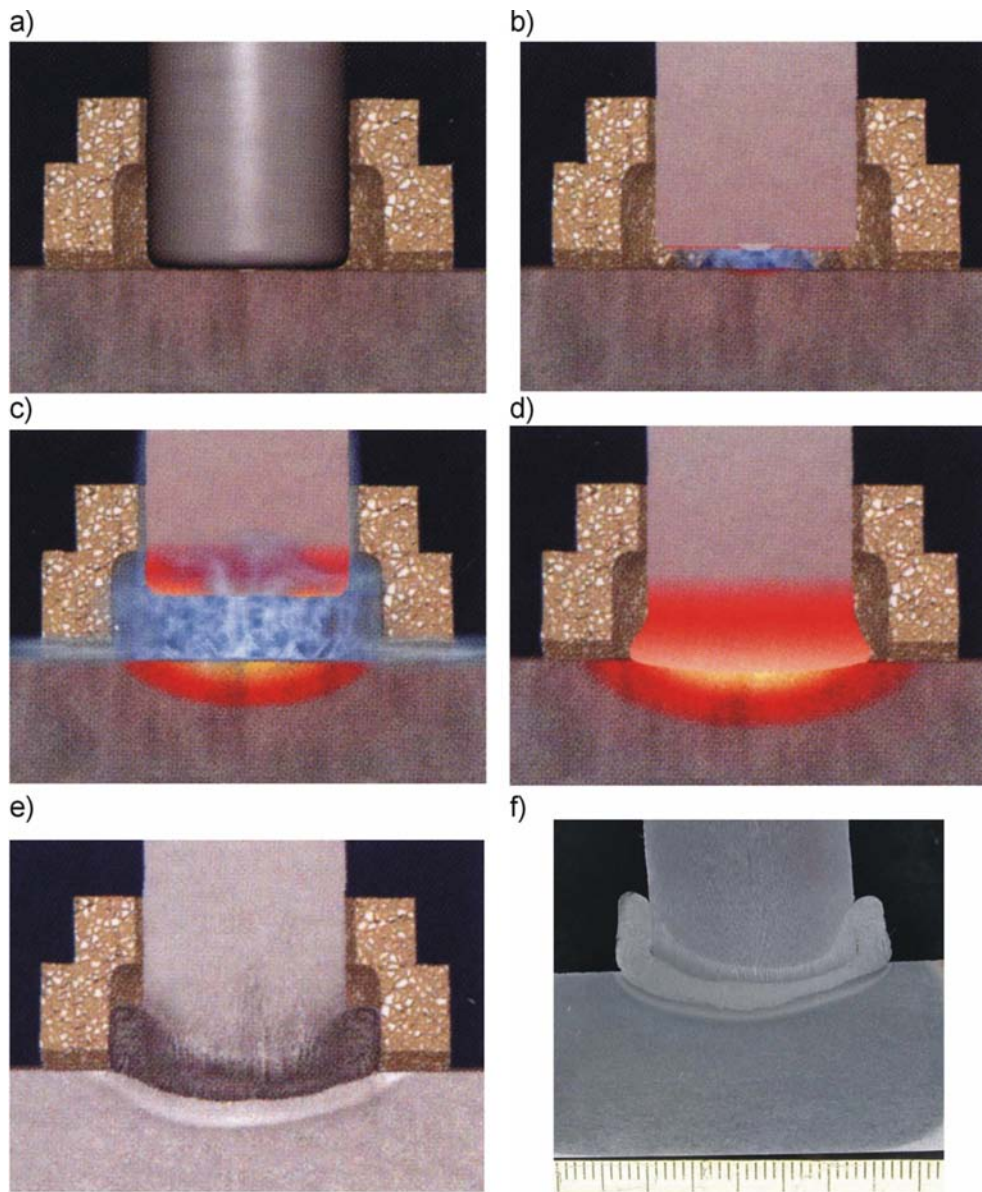
- | | |
|--|--------------------------|
| • most preko rijeke Krke kod Skradina | Ø 22x170 mm ~ 39000 kom |
| • most Maslenica preko Novskog Ždrila | Ø 19x100 mm ~ 17400 kom |
| | Ø 22x100 mm ~ 9000 kom |
| • most preko rijeke Mure kod Svetog Martina | Ø 22x175 mm ~ 3900 kom |
| • nadvožnjak čvor "Kosnica" - Zagreb | Ø 19x150 mm ~ 15000 kom |
| | Ø 19x80 mm ~ 4900 kom |
| • nadvožnjak preko želj. pruge ZG-VI kod Perkovaca | Ø 22x175 mm ~ 110000 kom |

2. OPIS POSTUPKA ZAVARIVANJA

Postupak elektrolučnog zavarivanja svornjaka ili drugih različitih oblika koji se zavaruju ovim postupkom je visokoučinski postupak zavarivanja koji se široko primjenjuje u industriji (kotlogradnja, mostogradnja, ...). Može biti poluautomatski ili automatski postupak zavarivanja. Postoji više varijanti elektrolučnog zavarivanja svornjaka, no u ovom se radu naglasak dalo na poluautomatski postupak zavarivanja s zaštitnim keramičkim prstenom. Postupak zavarivanja je shematski prikazan na slici 2.

Pištolj za zavarivanje svornjaka (slika 3) ručno se napuni s moždanikom i odgovarajućim keramičkim prstenom. Potom se pištolj pritisne uz radni komad na način da keramički prsten leži okomito na površini radnog komada.

Pritiskom na tipku za pokretanje (startanje) prvo proteče struja koja prethodi zavarivanju kroz kratki spoj između moždanika i radnog komada, a po podizanju moždanika prvo se uspostavi pomoćni luk koji tada uspostavlja glavni električni luk.



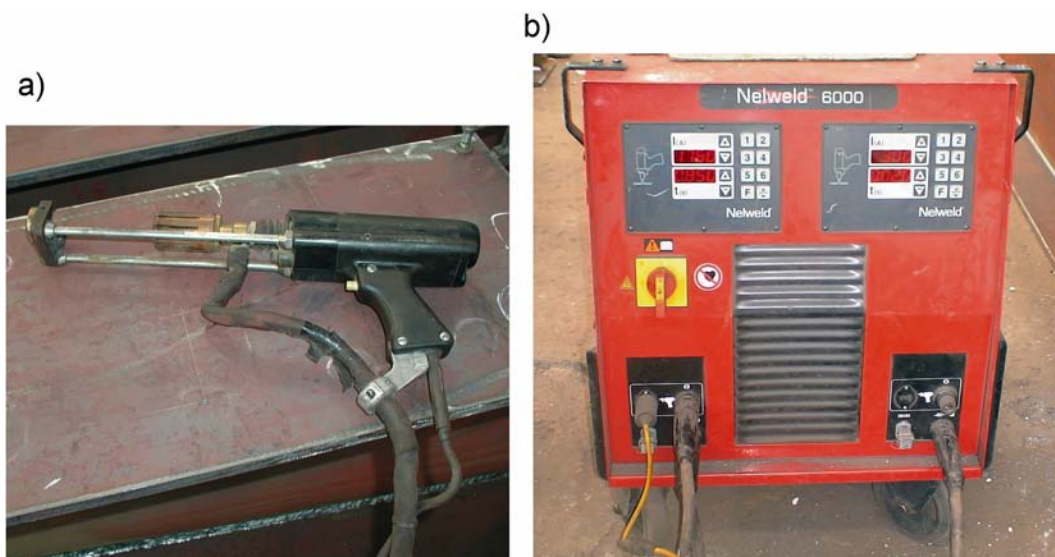
Slika 2. Prikaz postupka zavarivanja "moždanika" [3]

a) početni položaj neposredno pred zavarivanje, b) uspostavljanje kratkog spoja, c) podizanje svornjaka (lift, hub), d) utiskivanje svornjaka u osnovni materijal, e) hlađenje zavarenog spoja i f) prikaz makro fotografije zavarenog spoja

Zavojnice pištolja podižu moždanik protiv sile tlačnih opruga na postavljenu visinu podizanja. Kada je dosegnut krajnji položaj, zavojnice pištolja se isključuju iz struje te se moždanik "upucava" nazad u radni komad.

Tijekom procesa zavarivanja glavni električni luk tali i omekšava lice moždanika i područje slične veličine na radnom komadu. Kada moždanik za zavarivanje udari u radni komad električni luk se prekida. Moždanik se pritišće u osnovni materijal (podlogu) do unaprijed određene dubine uranjanja (uvaljivanja). Nakon toga se odmakne pištolj za zavarivanje od moždanika, pa se može laganim udarcem čekića ukloniti keramički prsten. Na taj je način postupak zavarivanja završen.

Trajanje zavarivanja moždanika je ovisno o promjeru moždanika i ono je u području od 100 do 3000 ms.



Slika 3. Pištolj za elektroslučno zavarivanje svornjaka (a) i izvor struje za zavarivanje (b)

Primjer uspješno zavarenih svornjaka na nosačima mosne konstrukcije prikazan je na slici 4.



Slika 4. Primjer uspješno zavarenih moždanika na elementima mosne konstrukcije

3. PARAMETRI ELEKTROLUČNOG ZAVARIVANJA SVORNJAKA [1]

Odabir parametara zavarivanja provodi se:

- iz tablica prema preporuci proizvođača opreme,
- uz pomoć formula za orijentacijski odabir,
- eksperimentalno (vlastite tehnološke probe).

Prema EN ISO 14555 definirani su sljedeći parametri zavarivanja koji imaju bitan utjecaj na tok procesa i svojstva zavarenog spoja:

a) Polaritet: Svornjak je spojen na minus pol (DC -)

b) Struja zavarivanja: Računa se orijentacijski prema formuli: $I (A) = 90 \times d (mm)$ za svornjake $d > 16 mm$

c) Napon električnog luka: Napon ovisi o visini "L" (razmak između vrha svornjaka i površine radnog komada) i jakosti struje zavarivanja. U pravilu se kreće od 20 – 40 V. Površina podloge treba biti odmašćena i očišćena od svih nečistoća.

d) Trajanje zavarivanja: Računa se orijentacijski prema formuli: $t_w (s) = 0,04 \times d (mm)$ za svornjake $d > 12 mm$. Izračunate vrijednosti vrijede za zavarivanje u PA položaju (prema standardu HRN EN). Za zavarivanje u PC položaju treba vrijeme smanjiti.

e) Istureni dio svornjaka: Vrijednost "P" (mm) leži u granicama 1 do 8 mm i proporcionalna je promjeru svornjaka. Ova varijabla određuje oblik kružnog vijenca oko zavarenog svornjaka.

f) Odizanje svornjaka: Vrijednost "L" (mm) leži u granicama 1,5 do 7 mm i proporcionalna je promjeru svornjaka. Veća visina odizanja povećava dužinu električnog luka, a time i njegov napon. Ona je značajna veličina za određivanje načina taljenja vrha svornjaka. Ako je odizanje premaleno povećani broj kratkih spojeva kapljica može poremetiti proces zavarivanja. U slučaju većih odstupanja od optimalnih vrijednosti mogu nastati šupljine u kupki.

g) Brzina "uranjanja": Za svornjake $d > 14 mm$ uranjanje treba biti prigušeno (usporeno). Brzina kojom se svornjak uroni ("upuca") u talinu za $d > 14 mm$ iznosi 100 mm/s. To se postiže elektronskom regulacijom brzine uranjanja. Na uređaju se mogu odabrati četiri razine (0-3). Vrijednost "0" znači da nema prigušenja, tj. svornjak će se uroniti u kupku bez ikakve kontrole brzine. Ako je brzina uranjanja premalena to će dovesti do pora ili zajeda u zoni zavara. Ako je brzina prevelika kupka zavara će prskati prema stranama ili prema gore u momentu uranjanja s rizikom blokiranja kretanja svornjaka prema dolje. Ovaj parametar definiran je preko vrijednosti prigušenja (njem. Dämpfung = DMP):

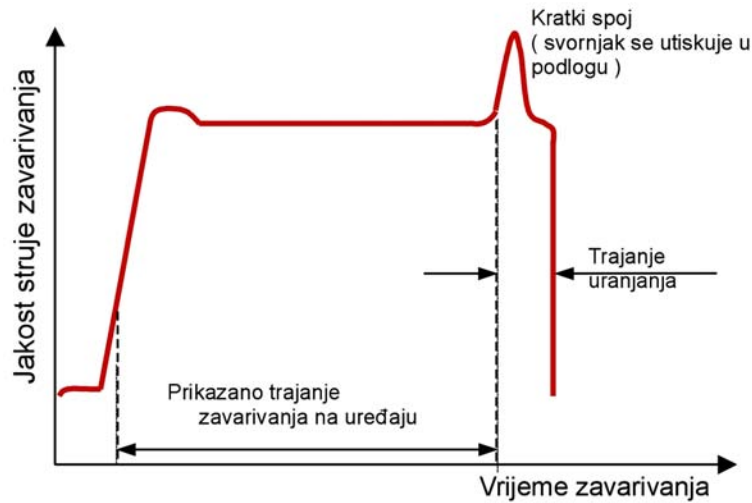
DMP	v (mm/s)
0	250-400
1	120
2	60
3	30

Primjer: Ako je $L = 4,5 mm$, $DMP = 2 (60 mm/s)$

$(L / v) \times 1000 = (4,5 / 60) \times 1000 = 75 ms$ – vrijeme uranjanja svornjaka u talinu.

Ovisno o vrijednostima podizanja ("L") i prigušivanja stvarno trajanje zavarivanja će biti duže od nominalnog za vrijeme uranjanja što se vidi na slici 5.

Za postizanje nominalne vrijednosti jakosti struje zavarivanja potreban je određeni vremenski interval koji je ovisan i o veličini uređaja.



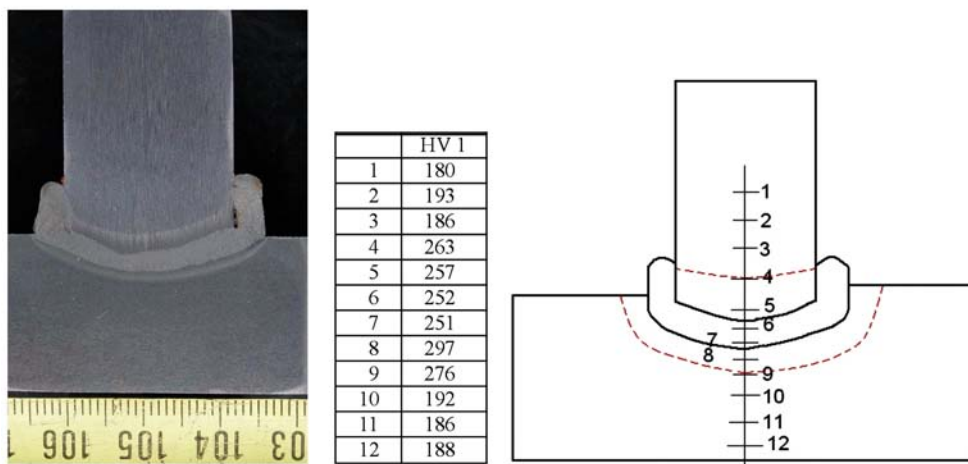
Slika 5. Shematski prikaz ovisnosti jakosti struje i trajanja zavarivanja

Za zavarivanje svornjaka u provedenom zavarivanju definirani su parametri zavarivanja prema tablici 1.

Tablica 1. Parametri zavarivanja svornjaka Ø 22 x 175 mm

Prema EN ISO 14555	Prema atestu postupka zavarivanja
I = 1980 A	I = 2000 A
L = -	L = 4,5 mm
P = -	P = 5 mm
$t_w = 0,88$ s	$t_w = 1$ s
DMP = 2	DMP = 2 (3)

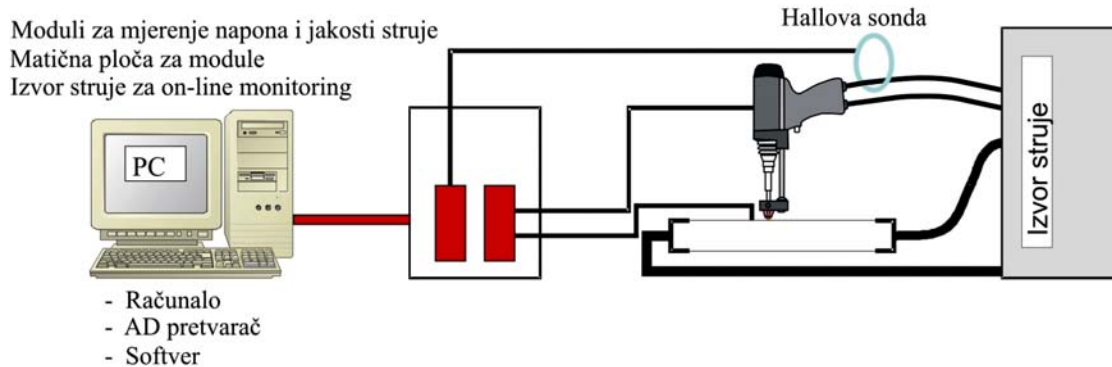
Nakon zavarivanja atestnih uzoraka (osnovni materijal čelik S 355 J2 G3 - EN 10025, debljine 30 mm; svornjak od čelika St 37 – 3K (S235J2G3+C450), dimenzija Ø22x175 mm napravljena je fotografija makro presjeka zavarenog spoja, te su izmjerene vrijednosti tvrdoće HV 1 u zavarenom spoju (slika 6).



Slika 6. Fotografije makro presjeka zavarenog spoja i tvrdoće HV1 po presjeku zavarenog spoja

4. EKSPERIMENTALNO MJERENJE PARAMETARA ZAVARIVANJA POMOĆU ON-LINE MONITORING SUSTAVA

U namjeri da se detaljnije provjere parametri zavarivanja, u radionici su provedena eksperimentalna mjerenja napona i jakosti struje tijekom zavarivanja pomoću On-line monitoring sustava (frekvencija uzorkovanja bila je 5 kHz). Shematski prikaz mjerenja parametara zavarivanja prikazan je na slici 7.

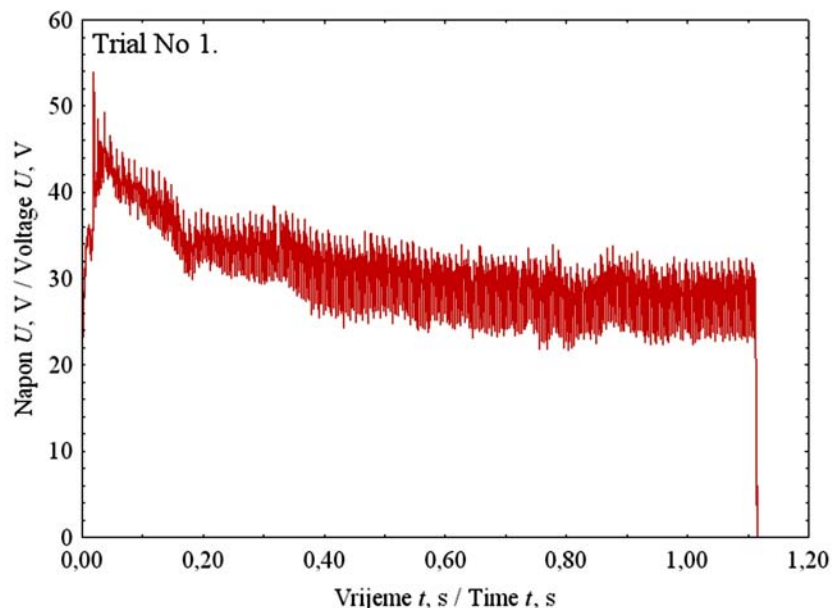


Slika 7. Shematski prikaz mjerenja parametara elektroslučnog zavarivanja svornjaka pomoću On-line monitoring sustava

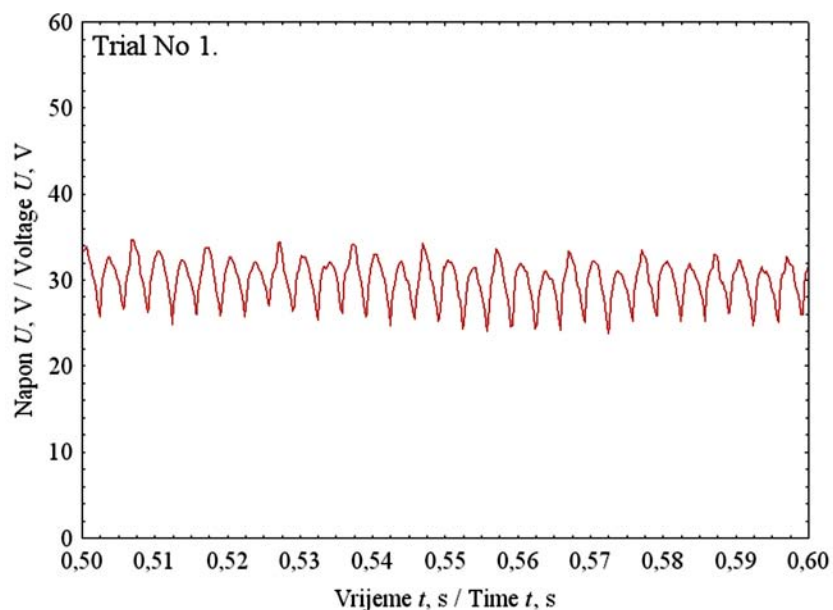
Na slikama 8-12 prikazani su dijagrami izmjerenih vrijednosti napona i jakosti struje zavarivanja (trial No.1). Postavljeni parametri zavarivanja na izvoru struje za zavarivanje su bili:

Jakost struje, $I = 2050 \text{ A}$
 Vrijeme zavarivanja, $t = 1,05 \text{ s}$

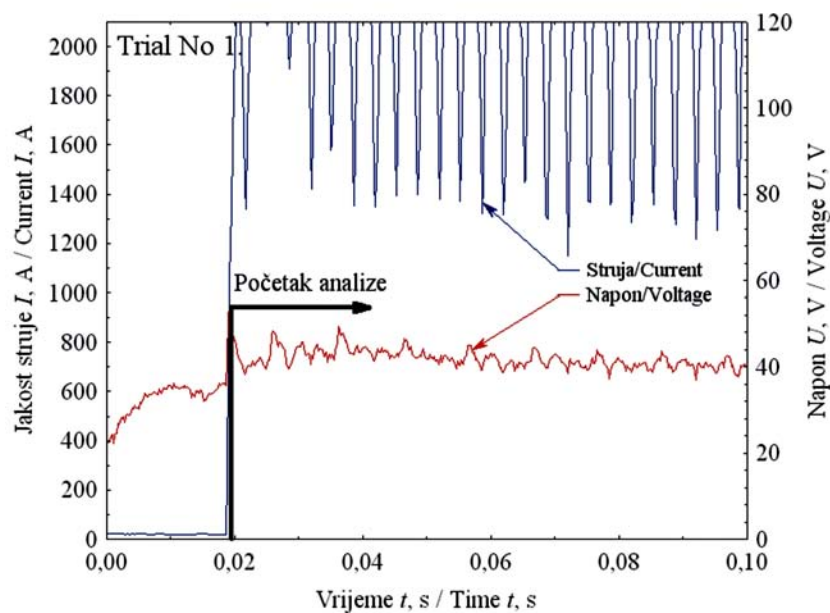
Ostali parametri postavljeni prema atestu postupka zavarivanja (tablica 1).



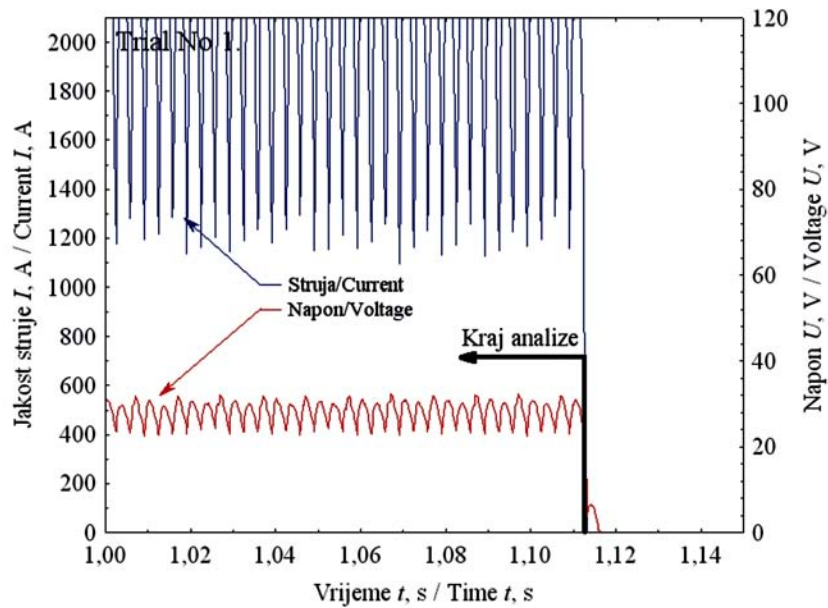
Slika 8. Distribucija napona zavarivanja za kompletan ciklus zavarivanja svornjaka



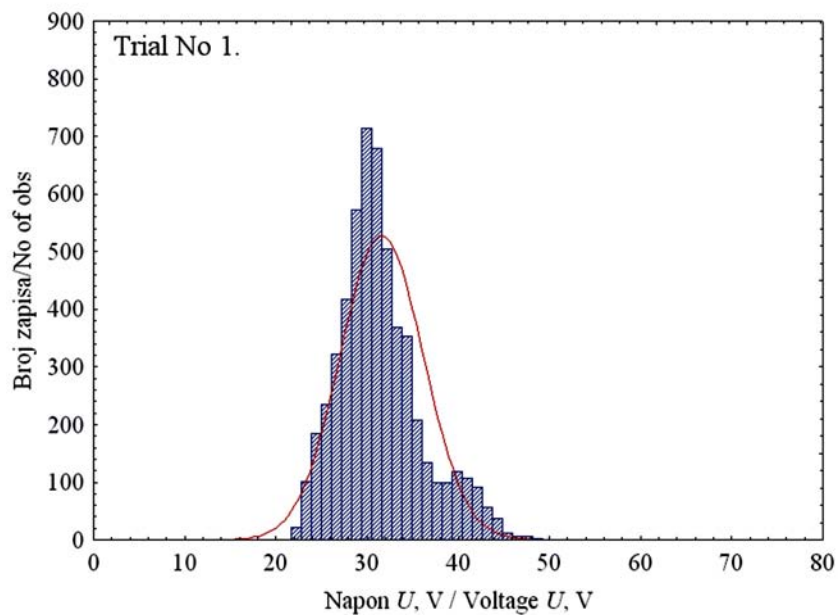
Slika 9. Distribucija napona zavarivanja za vremenski ciklus od 0,1 s kod elektrodučnog zavarivanja svornjaka



Slika 10. Distribucija jakosti struje i napona zavarivanja na početku procesa zavarivanja



Slika 11. Distribucija jakosti struje i napona zavarivanja na kraju procesa zavarivanja



Slika 12. Histogram promjena napona zavarivanja (isključeni početak i kraj zavara prema slikama 10 i 11)



5. ZAKLJUČAK

U radu se obrazlaže postupak elektrolučnog zavarivanja svornjaka koji je nezaobilazan postupak zavarivanja u mostogradnji sa stajali stajališta tehnološkičnosti (ekonomičnosti, kvalitete i pouzdanosti, ...). U radu se obrazlažu parametri zavarivanja s primjerom uspješno primjenjenih parametara zavarivanja u praksi. U sklopu eksperimentalnog istraživanja stabilnosti procesa elektrolučnog zavarivanja, u radionici je proveden set eksperimentalnih zavarivanja i registriranja glavnih parametara zavarivanja. U ovom se radu daje samo primjer distribucije napona tijekom cjelokupnog trajanja zavarivanja i u odabranom vremenskom intervalu zavarivanja (od 0,5. do 0,6. sekunde). Isto tako, sam detalj početka i kraja zavarivanja prikazan je na slikama 10 i 11 (napon i djelomično jakost struje zavarivanja). Histogram frekvencija za napon zavarivanja (isključeni početak i kraj zavarivanja), prikazan je na slici 12. U nastavku istraživanja obuhvatit će se primjeri izrazite nestabilnosti procesa zavarivanja (napr. onečišćena površina, oštećen svornjak), te pomak parametara zavarivanja s obzirom na parametre definirane u verifikaciji (atestu, certifikatu) postupka zavarivanja. Zapisi parametara zavarivanja dovest će se u vezu s kvalitetom zavarenog spoja koja se zahtjeva pri verifikaciji postupka zavarivanja.

6. LITERATURA

- [1] Mustapić, Ivica; Samardžić, Ivan; Klarić, Štefanija: Tehnološka primjena elektrolučnog postupka zavarivanja svornjaka u mostogradnji. // *Tehnički vjesnik*. 11 (2004) , 1-2; 21-31.
- [2] Dokumentacija tvornice Montaža d.o.o. Slavonski Brod, Hrvatska
- [3] HBS: Stud Welding, www.hbs-info.com, (15.06.2004.)
- [4] EN ISO 13918: Studs and ceramic ferrules for arc stud welding
- [5] Katalog proizvođača opreme NELSON
- [6] EN ISO 14555: Arc stud welding of metallic materials