

DUZS - Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji

ZBORNİK RADOVA

SAVETOVANJE ZAVARIVANJE

2016

Srebrno jezero, 14-17. septembar 2016

Priredio:
Branislav Lukić

Kompjuterska priprema:
Vojislav Simić

Izdavač:
DUZS
Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji
Grčića Milenka 67, Beograd

Beograd, septembar 2016

IMPRESSUM

NASLOV: ZBORNIK RADOVA - SAVETOVANJE ZAVARIVANJE 2016

UREDNIK: Branislav Lukić, dipl. inž.maš.

IZDAVAČ: DUZS - Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, Grčića Milenka 67,
Beograd

ŠTAMPA/UMNOŽAVA: AŠKOVIĆ STUDIO Beograd

TIRAŽ: 150 primeraka

ISBN broj: 978-86-82585-12-1

KOMPJUTERSKA PRIPREMA: Vojislav Simić

NAUČNO-STRUČNI ODBOR "ZAVARIVANJE 2016":

Milica Antić, dipl.ing.

Prof.dr. Katarina Gerić

Dr Vencislav Grabulov - predsednik Odbora

Prof. dr Vukić Lazić

Prof. dr Dragan Milčić

Dr Zoran Odanović

Prof. dr Radica Prokić-Cvetković

Prof. dr Nenad Radović

Prof. dr Aleksandar Sedmak

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије,
Београд

621.791(082)(0.034.2)

САВЕТОВАЊЕ Заваривање (2016 ; Сребрно језеро)

Zbornik radova [Elektronski izvor] / Savetovanje Zavarivanje 2016,
Srebrno jezero, 14-17. septembar 2016 ; priredio Branislav Lukić. -
Beograd

: Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, 2016 (Beograd :
Ašković studio). - 1 USB fleš memorija ; 6 x 9 cm (u obliku kartice)

Sistemska zahteva: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane
dokumenta. -

Tiraž 150. - Bibliografija uz većinu radova. - Abstracts ; Apstrakti.

ISBN 978-86-82585-12-1

a) Заваривање - Зборници

COBISS.SR-ID 225785612

IMPRESSUM	2
NAUČNO-STRUČNI ODBOR "ZAVARIVANJE 2016":.....	2
I KONVENCIONALNI I NEKONVENCIONALNI POSTUPCI ZAVARIVANJA	7
I.1 ZAVARIVANJE CIJEVNIH SISTEMA U KOTLOGRADNJI WELDING OF TUBE/PIPE SYSTEMS IN BOILER PRODUCTION B. Despotović („Đuro Đaković“-Tep, Slavonski Brod, Hrvatska) i I. Samardžić, T. Marsenić	8
I.2 UTICAJ PREGREVANJA OSNOVNOG MATERIJALA I METALA ŠAVA, TOKOM ZAVARIVANJA TRENJEM SA MEŠANJEM, NA EFIKASNOST ZAVAREN OG SPOJA THE INFLUENCE OF OVERHEATING OF FRICTION STIR WELD’S BASE MATERIAL AND WELD ON WELD’S EFFICIENCY M. Mijajlović (Mašinski fakultet, Niš)	21
I.3 ANALIZA UTICAJA VREMENA TRENJA NA OBLIK SPOJA I MIKROSTRUKTURU ZONE MEŠANJA PRI ZAVARIVANJU TRENJEM RAZLIČITIH ČELIKA ANALYSIS OF INFLUENCE OF FRICTION TIME ON WELDED JOINT SHAPE AND MICROSTRUCTURE OF MIXING ZONE DURING FRICTION WELDING OF DIFFERENT STEELS N. Ratković (Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac) i V. Lazić, D. Arsić	28
I. 4 NAPREDNE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA – ZAVARIVANJE MODIFIKOVANIM LUKOM ADVANCED WELDING TECHNOLOGIES – MODIFIED ARC WELDING R. Jovičić (Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Beograd) i D. Pavlović, B. Zrilić, N. Pantelić, J. Markež.....	35
I. 5 PREGLED UTICAJA PARAMETARA FSW PROCESA NA UPOTREBLJIVOST NUMERIČKOG MODELA OVERVIEW OF INFLUENCE OF FSW PARAMETERS ON NUMERICAL MODEL USABILITY P. Tasić (Mašinski fakultet, Sarajevo, BIH) i I. Hajro.....	44
I.6 UNAPREĐENJE PROCESA NAVARIVANJA LEGURA KOBALTA PRIMENOM NANO ČESTICA IMPROVEMENT OF HARDFACING PROCESS OF COBALT BASED ALLOYS USING NANOPARTICLES S. Baloš (Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad) i P. Janjatović, M. Dramićanin, D. Labus Zlatanović, L. Šiđanin, S. Tomić.....	52

ANALIZA UTICAJA VREMENA TRENJA NA OBLIK SPOJA I MIKROSTRUKTURU ZONE MEŠANJA PRI ZAVARIVANJU TRENJEM RAZLIČITIH ČELIKA

ANALYSIS OF INFLUENCE OF FRICTION TIME ON WELDED JOINT SHAPE AND MICROSTRUCTURE OF MIXING ZONE DURING FRICTION WELDING OF DIFFERENT STEELS

Nada Ratković¹, Vukić Lazić², Dušan Arsić^{3,*}

¹) Docent, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, Srbija

²) Profesor, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, Srbija

³) Istraživač-saradnik, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, Srbija

E-mail: dusan.arsic@fink.rs;

Rezime:

Rad je koncipiran tako da obuhvata teorijsko-eksperimentalnu analizu spoja dobijenog zavarivanjem trenjem različitih čelika. Imajući u vidu činjenicu da je spajanje različitih čelika postupkom zavarivanja trenjem veoma složen fizičko-metalurški proces, praćen brojnim i različitim fenomenima, potrebna je što raznovrsnija i dublja analiza različitih relevantnih faktora, jer isti utiču na sam tok i ishod pomenutog procesa. U ovom radu prati se uticaj vremena trenja na pojavu i oblik neizbežne zone mešanja oba osnovna materijala, koja utiče na konačno formiranje oblika spoja. Eksperimentalni deo prikazan u radu izveden je na posebno pripremljenim cilindričnim uzorcima od ugljeničnog i brzoreznog čelika. Takođe su dati i osnovni principi procesa zavarivanja trenjem.

Ključne reči: Zavarivanje trenjem, vreme trenja, ugljenični celik, brzorezni čelik, zona mešanja

Abstract:

The concept of the paper assumes theoretical-experimental analysis of welded joint of dissimilar steels obtained by friction welding. Dealing with fact that joining of dissimilar steels is very complex physical and metallurgical process, there is a need for various and deeper analysis of all relevant factors. Also, mentioned factors have influence on welding process. The objective of this paper was to analyze the influence of friction time on appearance and shape of mixing zone both the carbon steel and the high speed tool steel. Mixing zone also have influence on final appearance of welded joint. Experimental procedure was conducted on specially prepared cylindrical specimens made of carbon and high speed steel. Also, the basic principles of friction welding process was given.

Key words: Friction welding, welding time, carbon steel, high speed steel, mixing zone.

1. UVOD

Zbog sve većih zahteva kod različitih savremenih postrojenja, čija je oprema izložena raznim mehaničkim, termičkim, korozionim i drugim uticajima, sve više su u primeni spojevi različitih materijala, među kojima je i spoj raznorodnih čelika. Za dobijanje kvalitetnog heterogenog zavarenog spoja od različitih čelika vrlo je važan izbor postupka zavarivanja. U ovom radu primenjen je postupak zavarivanja trenjem, koji se ubraja u napredne tehnologije. Pri zavarivanju trenjem ugljeničnog sa legiranim čelikom svi tehnološko-metalurški problemi koji se javljaju u toku procesa zavarivanja su manji nego pri zavarivanju drugim postupcima,

Sa metalurškog stanovišta zavarivanje različitih čelika je mnogo kompleksnije od zavarivanja istorodnih čelika. Jer termo-fizička, metalurška, kao i svojstva otpornosti brzoreznog i ugljeničnog čelika se znatno razlikuju u toplom stanju. A zbog same prirode procesa zavarivanja trenjem dolazi do fazne, strukturne i hemijske neravnomernosti, pojave intermetalne korozije, smanjenja mehaničkih svojstava u zoni spajanja [1]. U tom smislu prevazilaženje razlika u termopostojanosti ova dva čelika, jedino je moguće određivanjem i uvođenjem optimalnih vrednosti osnovnih parametara zavarivanja trenjem. Jedan od relevantnih parametara jeste vreme trenja od koga zavisi konfiguracija spoja, čiji uticaj je analiziran u ovom radu. Oblik zone mešanja pri spajanju pomenutih čelika kao i oblik same ravni spoja, zbog specifičnosti procesa zavarivanja trenjem i neravnomernosti plastične deformacije formira se u funkciji od vremena aktivnog dejstva trenja kontaktnih površina čeličnih elemenata koji se spajaju.

Izbor osnovnih materijala primenjenih u eksperimentu ovog rada temelji se na iskustvima iz industrijske prakse, jer je zavarivanje trenjem ugljeničnih sa legiranim čelicima zastupljeno u proizvodnji reznih alata.

2. SUŠTINA PROCESA ZAVARIVANJA TRENJEM

Za razliku od ostalih vidova zavarivanja kod zavarivanja trenjem način zagrevanja materijala, odnosno način dovođenja toplote na mesto spajanja potpuno je drugačiji. Materijal se ne zagreva nekim spoljašnjim izvorom (npr. električni luk, gasni plamen, električni otpor i slično), već se toplota dobija direktno na mestu spajanja. Fizička suština procesa zavarivanja trenjem zasniva se na transformaciji mehaničke energije trenja u toplotu na kontaktnim površinama elemenata osnovnog materijala. Po svojoj lokaciji takav toplotni izvor je unutrašnji, generisanje toplote je strogo lokalizovano i odvija se u tankim površinskim slojevima metala. Osnovu procesa zavarivanja trenjem čini plastična deformacija kontaktnih slojeva sučeljenih površina elemenata osnovnog materijala.

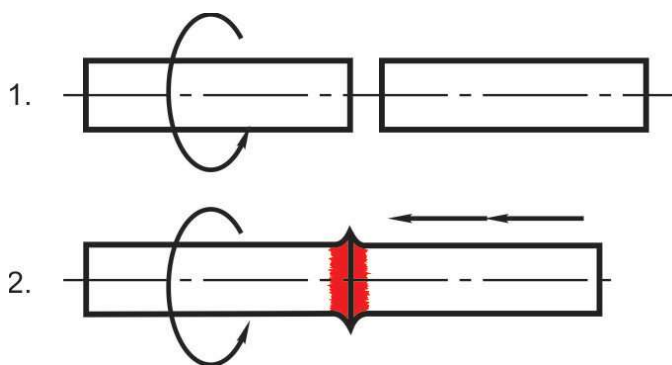
Po svojoj prirodi zagrevanje trenjem je neravnomerno po preseku, ali se u praktičnim uslovima zahvaljujući kondukciji postiže zadovoljavajuća raspodela toplote a time u toku vremena i ravnomerno zagrevanje slojeva materijala. Zbog toga vreme trenja, kao osnovni faktor ovog procesa spajanja, ima vaznu ulogu i treba ga definisati u skladu sa ostalim fizičko-mehaničkim karakteristikama i materijala i procesa spajanja.

Proces zavarivanja trenjem odvija se u nekoliko faza. U fazi trenja usled klizanja nastaju adhezioni spojevi u tačkama kontakta. U tim tačkama, naročito onim gde su adhezione veze jače od jačine OM, dolazi do smicanja potpovršinskih slojeva, što dovodi do odvajanja i prenošenja čestica jednog metala na drugi, odnosno dolazi do turbulentnog mešanja istih formirajući tako zonu mešanja.

U fazi sabijanja dejstvom aksijalne sile pritiska nastaje intenzivna plastična deformacija, usled čega dolazi do mešanja i tečenja visokouplastičenog metala u radialnom pravcu, te se po obodu spoja zbog istiskivanja formira venac.

Faza trenja traje veoma kratko, ali s druge strane vreme trenja treba da bude dovoljno kako bi se dodirne površine zagrejele do postizanja maksimalne temperature, čime se intenziviraju već započeti difuzioni procesi [2].

U fizičkom smislu međusobno sučeljavanje dva cilindrična elementa (sl. 1), od kojih se jedan obrće a drugi ne, dovodi do složenih fizičko-metalurških promena u materijalu u zoni kontakta. Npr. u tačkama efektivnog dodira nastaju veliki specifični pritisci reda veličine 0.1 – 0.2 od teorijske jačine materijala, koji su kratkotrajni ($10^{-6}s$) [3]. Deformacije nastaju na mikro i makro nivou.

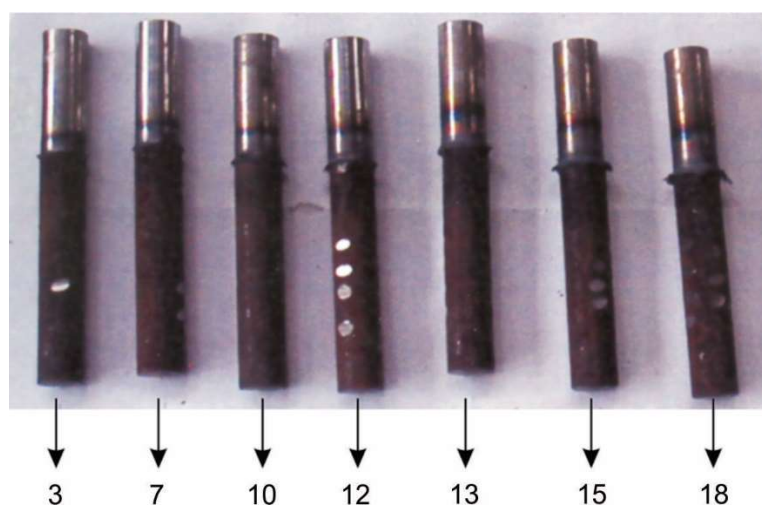


Slika 1. Šematski prikaz zavarivanja trenjem

3. OBLIK I MIKROSTRUKTURA ZONE MEŠANJA ČELIKA HS 6-5-2-5 I C60

Eksperimentalni deo rada obuhvatio je pripremu, zavarivanje i analizu zavarenih uzoraka (sl. 2) od brzoreznog čelika HS 6-5-2-5 i ugljeničnog čelika C60. Pažnja i analiza su usmereni na metalografska ispitivanja u zoni spajanja, gde se dešavaju složene i važne promene. Zavarivanje je izvedeno pri različitim vremenima trenja (od 3 do 18s) i za svaki zavareni uzorak je praćen oblik zone mešanja.

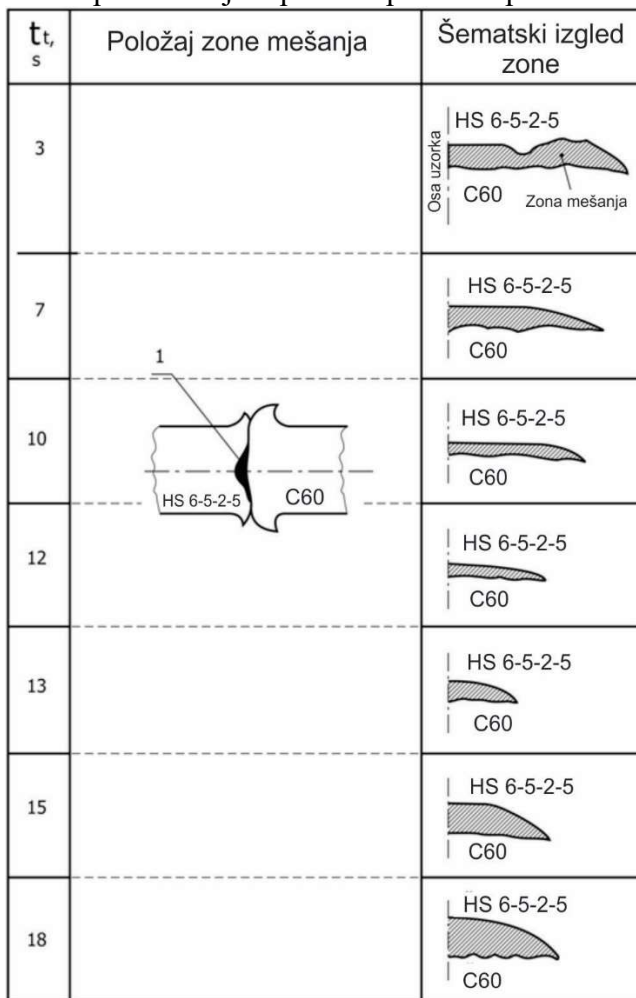
Metalografskim ispitivanjima utvrđeno je da u fazi trenja pri zavarivanju trenjem čelika HS 6-5-2-5 sa čelikom C60 dolazi do formiranja navarenog sloja brzoreznog čelika (10–200 μm) na ugljenični čelik. U toj zoni dolazi do mešanja čestica oba OM.



Slika 2. Zavareni uzorci od HS 6-5-2-5 i C60 u funkciji od vremena trenja

Zona mešanja se javlja u centralnom delu cilindričnog uzorka (sl. 3 pozicija 1), iako je zapaženo mešanje čestica oba čelika u oblastima udaljenijim od ose rotacije. U mikrostrukturi

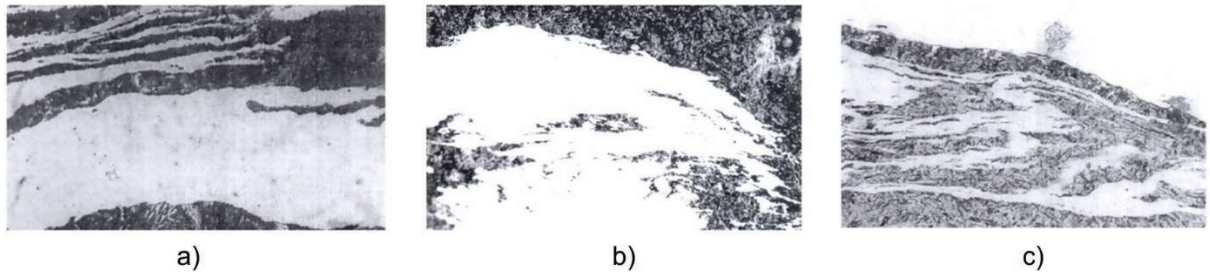
se uočava razlika između pomenute zone brzoreznog čelika i ostalog dela istog čelika. Zona mešanja je karakteristične konfiguracije, ima oblik razlivenne kapi i njena rasprostranjenost zavisi od vremena trenja (sl. 3). Na slici 3 dat je izgled zone mešanja, a s obzirom na osnu simetričnost prikazana je u preseku polovina površine zone.



Slika 3. oblik zone mešanja čelika HS 6-5-2-5 i C60 u funkciji od vremena trenja $t_t=(3-18)s$

Ispitivanja su pokazala da u najvećem broju slučajeva linija koja odvaja zonu mešanja od brzoreznog čelika ne predstavlja makroskopsku grešku (npr. prslinu, neprovar i sl.), što je često asocijacija zbog sličnosti.

Zonu mešanja odlikuje nehomogenost u pogledu mikrostrukture i hemijskog sastava, što je posledica toplotnih i deformacijskih uslova nastalih još u početnoj fazi procesa zavarivanja trenjem. U blizini linije spoja ne dolazi uvek do potpune homogenizacije izmešanih čestica oba čelika. U tim slojevima uočene su posebno izlučene čestice jednog čelika u drugom. Izlučevine mogu biti trakaste ili izolovano grupisane čestice (sl. 4). Na ovoj slici svetla polja odgovaraju česticama čelika HS 6-5-2-5.



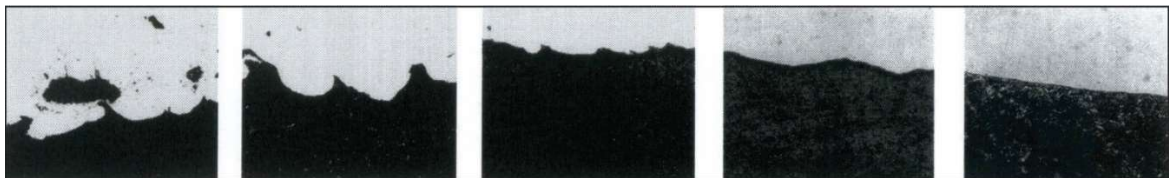
Slika 4. Mikrostruktura zone mešanja čelika HS 6-5-2-5 (svetla polja) i C60 u toku faze trenja: a) laminarno kretanje čestica ($t_f=3s$), b) laminarno-turbulentno ($t_f=7s$), c) turbulentno kretanje čestica ($t_f=13s$) (200 \times)

Zona mešanja je izložena veoma složenom kretanju čestica materijala, od laminarnog do turbulentnog, jer se relativno pomera između čeonih površina dve čelične šipke, od kojih se jedna obrće a druga miruje.

Kako se odvijaju faze trenja tako i raste temperatura i povećava se dubina zagrejjane zone na visoke temperature a istovremeno se snižava otpor prema plastičnoj deformaciji pa umesto laminarnog postaje dominantno turbulentno kretanje čestica. Čestice brzoreznog čelika kreću se i sa sobom nose čvrste čestice karbidne faze, kojih na početku trenja ima nešto više a kasnije se smanjuju delimično zbog rastvaranja a u većoj meri zbog istiskivanja van ravni trenja.

Uočeno je da u zoni mešanja dolazi do izrazitog povećanja sadržaja ugljenika, što nastaje kao posledica razugljeničenja sloja čelika C60 neposredno uz spoj.

Što se tiče oblika linije spoja treba napomenuti da linija spoja kod uzoraka sa manjim vremenom trenja ili kod kojih je pritisak sabijanja nedovoljan nepravilnog je oblika (sl. 5). Nepravilan oblik linije spoja je nepovoljan i to ukazuje da je iz nekog razloga izostala neophodna plastična deformacija. Pri dovoljnoj plastičnoj deformaciji dolazi do tečenja materijala, popunjavanja neravnina i formiranja ravne linije spoja klase A. Klasa A linije spoja odnosi se na kriterijume za ocenu kvaliteta trenjem zavarenih spojeva i znači da je zavareni spoj u granicama optimalnog.



Vreme trenja, t_f \longrightarrow

Slika 5. Oblik linije spoja čelika HS 6-5-2-5 i C60 u zavisnosti od vremena trenja (HS 6-5-2-5 – svetla polja, C60 – tamna polja)

4. DISKUSIJA REZULTATA

Prema pokazanim rezultatima zona mešanja najviše zavisi od vremena trenja i utvrđeno je da sa porastom vremena trenja t_f prečnik zone mešanja ima tendenciju smanjivanja. Isto tako zapaža se da za vreme trenja od 12s i 13s prečnik zone mešanja se izrazito smanjuje, što je u saglasnosti sa rezultatima ispitivanja zatezanjem. Zona mešanja za vreme trenja 13s je najmanja jer je došlo do istiskivanja jednog dela materijala van spoja. Pri najmanjem vremenu trenja zona mešanja se prostire po najvećoj površini poprečnog preseka. Kako vreme trenja raste prečnik zone mešanja se smanjuje, a pri $t_f=15s$ i dužim vremenom opet se povećava. Utvrđeno je da kod uzoraka čije su dimenzije zone mešanja relativno male, pri ispitivanju zatezanjem lom nastaje na delu čelika C60.

Na osnovu metalografske analize ustanovljeno je da se mikrostruktura čelika HS 6-5-2-5 u zoni mešanja sastoji od rekristalisanih austenitnih zrna različite veličine i nepravilnog oblika. Uočena karbidna polja u ravni trenja rezultat su reakcije ugljenika sa karbidotvornim hemijskim elementima koji su prisutni kao legirajući u brzoreznom čeliku.

Linija spoja postiže pravilan oblik tek sa nešto većim vrednostima vremena trenja (iznad 6s).

5. ZAKLJUČAK

S obzirom na složenost procesa zavarivanja trenjem, veoma je značajno, kako teorijskom tako i analizom dobijenih eksperimentalnih rezultata potvrditi i proceniti uticaj pojedinih parametara zavarivanja na tok procesa i kvalitet spoja. Vreme trenja predstavlja samo jedan član dugačkog niza parametara zavarivanja trenjem počevši od tehnološko-metalurških, termofizičkih, mehaničkih i drugih. Zadatak usložava spajanje različitih čelika.

Način izbora vremena trenja ne može se propisati opštim modelom i uglavnom i prvo zavisi od spajanih materijala, a budući da su u zoni mešanja veoma velike brzine deformisanja, a na površini trenja vlada složeno naponsko stanje gotovo uvek imamo pojedinačne slučajeve kada su u pitanju različiti čelici.

Eksperimentalna analiza ovog rada je pokazala da formiranje zone mešanja kao i njen oblik i struktura eksplicitno zavise od vremena trenja.

LITERATURA

- [1] Ratković, N., Nikolić, R., Samardžić, I., Structural, chemical and deformation changes in friction welded joint of dissimilar steels, *Metallurgy*, 53 (2011), pp 513-516.
- [2] Ratković, N., Sedmak, A., Jovanović, M., Lazić, V., Nikolić, R., Krstić, B., Quality analysis of Al-Cu joint realized by friction welding, *Technical Gazette*, 16 (2009), pp. 3-7.
- [3] Ratković, N., Sedmak, A., Jovanović, M., Lazić, V., Nikolić, R.; Krstić, B., Fizičke i metalurške promene pri zavarivanju trenjem brzoreznog čelika i čelika za poboljšanje, *Tehnički vjesnik*, 16 (2009), pp. 27-31.
- [4] Ćirić, R., Strukturne promene u blizini šava trenjem zavarenih čelika, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, 1-2 (2001), pp 31-36.
- [5] Sahin, M., Joining with Friction Welding of high – speed steel and medium – carbon steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 11 (2005), pp 469-475.
- [6] Denin, G., Optimierung von Einstellwerten für das Reibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb, *Fachinformation von KUKA-Augsburg Nr 32/1989*.
- [7] Ratković, N., Arsić, D., Lazić, V., Nikolić, R.; Sedmak, A., Influence of friction welding parameters on hardness, mikrostructure and mechanical properties of the Al-Cu joint, 7 International Scientific and Expert Conference TEAM 2015, Belgrade, 14-16 October, 2015.
- [8] Fukumoto, S., Tsubakino, Okita, K., Aritoski, M.; Tomita, T.: Friction Welding Process of 5052 Aluminim Alloy to 304 Stainiess Steel. *Materials Science and Technology*, September, 15 (1999), pp 1080-1086.
- [9] Ratković, N.: Modeliranje procesa zavarivanja trenjem mašinskih delova različitih oblika i materijala, *Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2009*.
- [10] Ratković, N., Arsić, D., Lazić, V., Nikolić, R., Hadzima, B., The contact and compacting pressures influences on the plastic deformation parameters of the friction welded joint, *Materials Engineering - Materialove inženierstvo*, 23 (2016), pp. in press.
- [11] N. Ratković, D. Arsić, V. Lazić, R. Nikolić, B. Hadzima, Micro-structure in the joint friction plane in friction welding of dissimilar steels, *Procedia Engineering*, (2016), pp. in press.