

TEHNOLOGIJA, INFORMATIKA I OBRAZOVANJE
ZA DRUŠTVO UČENJA I ZNANJA

6. Međunarodni Simpozijum, Tehnički fakultet Čačak, 3–5. jun 2011.

TECHNOLOGY, INFORMATICS AND EDUCATION
FOR LEARNING AND KNOWLEDGE SOCIETY

6th International Symposium, Technical Faculty Čačak, 3–5th June 2011.

UDK: 669.1

Stručni rad

PRIMER PLANIRANJA I IZVOĐENJA EKSPERIMENTA U CILJU EDUKACIJE I RAZVOJA PROIZVODA

Igor Savić¹, Darko Nedeljković², Bojana Pavlović³, Radovan Ćirić⁴

Rezime: U radu su prikazani rezultati eksperimenta izvršenog u cilju osvajanja optimalne tehnologije zavarivanja trenjem visokolegirano sa ugljeničnim čelikom. Izbor optimalnog režima izvršen je na bazi laboratorijskih ispitivanja mehaničkih osobina i mikrostrukture.

Ključne reči: Eksperiment, laboratorijska ispitivanja, zavarivanje trenjem, čelik.

PLANNING AND PERFORMING THE EXPERIMENT IN EDUCATIONAL PURPOSES AND PRODUCT DEVELOPMENT

Summary: This paper presents the results of a experimental study for adopting the optimal friction welding technology. The experiment was related to the process of friction welding of HS steel with carbon steel. Selection of the optimum regime was made based on laboratory testing of mechanical properties and microstructure.

Key words: Experiment, laboratory testing, friction welding, steel.

1. UVOD

Zavarivanje trenjem (ZT) brzoreznih čelika sa čelicima za poboljšanje u proizvodnji reznih alata predstavlja značajnu oblast primene zavarivanje trenjem.

Pitanje izbora optimalnog režima ZT je i danas aktuelno obzirom na veliki broj kombinacija čelika, konstrukcija reznih alata, karakteristika mašina za ZT, režima termičke obrade zavarenih spojeva i drugih faktora. Pri izboru optimalne veličine parametara procesa ZT sa kontinualnim pogonom (pritisak trenja P_t , vreme trenja V_t , pritisak sabijanja P_s , vreme sabijanja V_s i brzina trenja) polazi se od sledećih postavki.

Optimalni P_t treba da omogući da se u III fazi procesa ZT, kada se temperaturno polje stabilizuje u prostoru, stvore uslovi za istiskivanje nepoželjnih faza van spoja i ostvare

¹ Igor Savić, Fabrika reznog alata, Hajduk Veljkova 47, Čačak, E-mail: igorsavic@open.telekom.rs

² Darko Nedeljković, Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Čačak, E-mail: darened@gmail.com

³ Bojana Pavlović, FAD, Gornji Milanovac

⁴ Radovan Ćirić, Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Čačak, E-mail: radovan.ciric@vstss.com

preduslovi za ostvarenje potrebne plastične deformacije i formiranje metalne veze (u fazi sabijanja). Pri niskom P_t količina razvijene toplote je nedovoljna. Kod previsokih pritisaka povećava se količina razvijene toplote, ali se znatno povećava i udeo toplote koja odlazi sa istisnutim metalom.

Optimalan P_s obezbeđuje ostvarenje takvog stepena deformacije koji dovodi do istiskivanja nepoželjnih faza iz spoja, stvaranja metalne veze između OM i formiranja spoja bez makroskopskih grešaka. ZT sa preniskim P_t i prekratkim V_t , zbog male količine razvijene toplote (niske temperature, uska ZUT), nepovoljnog oblika kontaktnih površina i prisustva nepoželjnih faza zahteva primenu nešto viših P_s .

V_t predstavlja parametar čije se odstupanje može samo u određenoj meri nadoknaditi izborom veličine drugih parametara. Pravilan izbor V_t omogućava vođenje procesa ZT do III "kvazistacionarne" faze. Potrebno produžavanje procesa ZT u III fazi se bira u zavisnosti od metalurških osobina OM.

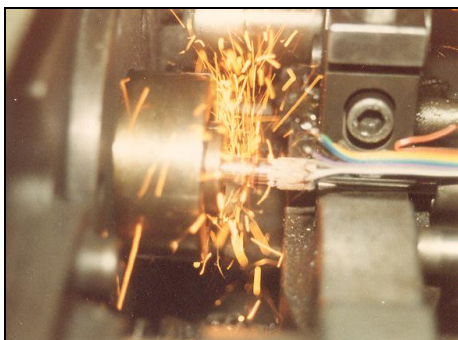
Posle ZT, zbog velike sklonosti ka pojavi hladnih prslina u brzoreznom čeliku do spoja, delovi se ulažu u tople lonce, a oni nakon punjenja u peć za žarenje. Žarenjem se postiže smanjenje tvrdoće i eliminisanje nepoželjne strukture u zoni spoja. Time se obezbeđuje bolja obradivost rezanjem i povoljnije osobine u kaljenom stanju [1].

Cilj rada je da se realizacijom planiranih eksperimentalnih programa izloži deo metodike izbora tehnologije zavarivanja i izbor optimalnog postupka ZT polufabrikata za izradu reznih alata.

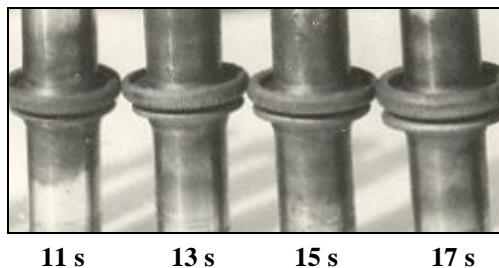
2. PODACI O MATERIJALU I EKSPERIMENTU

Eksperimentalno ZT Č 7680 (meko žareno stanje) sa Č 1730 (normalizovano stanje) je izvršeno na uzorcima prečnika 10 mm.

ZT je izvršeno na mašini AMVT 15-PH (proizvođač: FRA, Čačak), sl.1. U toku eksperimenta ostvarena je potpuna kontrola radnih parametara mašine. Predhodna ocena kvaliteta zavarenih spojeva u zavarenom stanju, sl.2., izvršena je pomoću tehnološke probe [2], kojom se u zoni spoja određuje prisustvo nepoželjnih karbidnih ravni (neprovara).



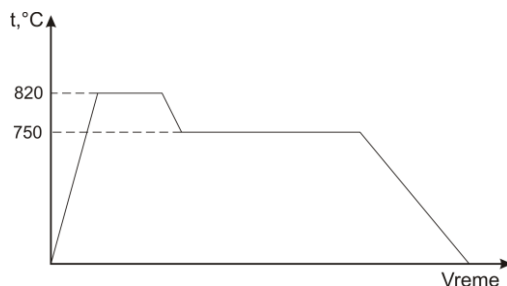
Slika 1: Zavarivanje trenjem na mašini AMVT 015-PH



11 s 13 s 15 s 17 s

Slika 2: Izgled spojeva zavarenih sa $V_t = 11, 13, 15$ i 17 s

Posle ZT uzorci su stepenasto žareni po režimu: 820°C/2h + 760 °C/5h + hlađenje u peći do 500 °C, sa završnim hlađenjem u loncima do sobne temperature, sl.3.



Slika 3: Režim stepenastog žarenja trenjem zavarenih polufabrikata Č 7680 + Č 1730

Posle stepenastog žarenja izvršeno je ispitivanje zavarenih spojeva na zatezanje i ispitivanje mikrostrukture.

3. IZBOR OPTIMALNIH PARAMETARA

3.1. Analiza uticaja pritiska i trenja

Cilj eksperimenta je bio da se utvrdi uticaj P_t i P_s na zateznu čvrstoću i mikrostrukturu zavarenih spojeva.

Konstantni parametri u eksperimentu bili su n (2850 min⁻¹), V_s (2,5 s) i V_t (15 s). Vreme trenja $V_t = 15$ s je izabrano na osnovu snimanja krive zavisnosti između jačine struje (po fazi) koju koristi pogonski motor za savlađivanje otpora trenja i vremena trenja, kao i na bazi tehnološke probe [2]. Vreme sabijanja V_s je usvojeno na osnovu preporuka iz literature. Posle ZT zavareni uzorci su žareni 820 °C/2h + 760 °C/5h.

Zavarivanje trenjem je izvršeno prema planu eksperimenta datom u tab.1.

Tabela 1: Plan eksperimenta

P_s , MPa	P_t , MPa		
	70	80	90
$P_s = 1,7 P_t$	120	140	155
$P_s = 2,1 P_t$	145	170	190
$P_s = 2,5 P_t$	175	210	225

Rezultati ispitivanja zatezanjem glatkih cilindričnih epruveta prečnika mernog dela 9 mm dati su u tab.2

Tabela 2. Uticaj pritiska trenja i sabijanja na zateznu čvrstoću zavarenih polufabrikata Č.7680+Č.1730 u meko žarenom stanju

P_t , MPa	P_s , MPa	R_m , MPa
70	120	658
	145	652
	175	669
80	140	713
	170	737
	210	700

90	155	736
	190	730
	225	720

S obzirom da je zatezna čvrstoća Č 1730, koji predstavlja OM niže čvrstoće, posle žarenja zajedno sa zavarenim polufabrikatima 723 MPa, zateznu čvrstoću veću od 95% od čvrstoće Č 1730 (veću od 687 MPa), saglasno [3], imaju svi spojevi zavareni sa $P_t = 80$ i 90 MPa.

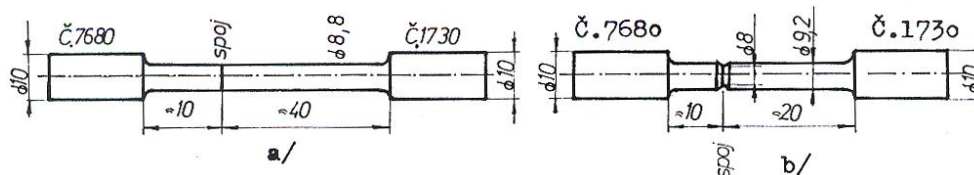
Između eksperimentalno probanih režima najveću zateznu čvrstoću imaju uzorci zavareni po režimima:

$P_t = 80$ MPa, $P_s = 170$ MPa,

$P_t = 90$ MPa, $P_s = 155$ i 190 MPa

3.2. Analiza uticaja vremena trenja

Cilj eksperimenta je bio da se utvrdi uticaj V_t na zateznu čvrstoću i mikrostrukturu zavarenih spojeva. U toku eksperimenta menjano je V_t od 11 do 17 s, dok su ostali parametri bili konstantni i imali sledeće vrednosti: $P_t = 80$ MPa, $P_s = 210$ MPa, $V_s = 4$ s, $n = 2850$ o/min. Posle ZT uzorci su stepenasto žareni. Ispitivanje zatezanjem je izvršeno na cilindričnim epruvetama i epruvetama sa zarezom poluprečnika vrha oko 0,17 mm, sl.4. Prema [4] pri datom poluprečniku vrha zarez koeficijent koncentracije napona kod zatezanja je oko 3,6. Ispitivanjem epruveta sa zarezom mogu se pouzdanije otkriti greške u zavarenom spoju nego pri korišćenju cilindričnih epruveta [5]. Rezultati ispitivanja zatezanjem epruveta zavarenih sa V_t koja obezbeđuju dobijanje kvalitetih zavarenih spojeva dobrih mehaničkih osobina dati su u tab.3.



Slika 4: Epruvete za ispitivanje zatezanjem: a) cilindrična, b) epruveta sa zarezom

Tabela 3: Uticaj vremena trenja na zateznu čvrstoću

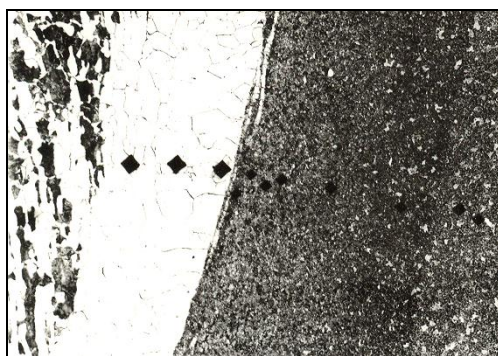
V_t , s	Zatezna čvrstoća, MPa	
	Cilindrična epruveta	Epruveta sa zarezom
11	645	669
12	708	680
13	704	712
14	698	749
15	717	830
16	710	730
17	685	684

Na osnovu rezultata zapaža se da u ispitivanom intervalu trajanja vremena trenja (11-17 s) najmanja zatezna čvrstoća iznosi 94% od zatezne čvrstoće materijala drške. Najveće vrednosti zatezne čvrstoće izmerene su kod epruveta zavarenih sa $V_t = 15$ s. Pri tome,

između korišćenih epruveta, epruvete sa zarezom daju izraženiju zavisnost između V_t i zatezne čvrstoće spoja.

4. METALOGRAFSKA ISPITIVANJA U ŽARENOM STANJU

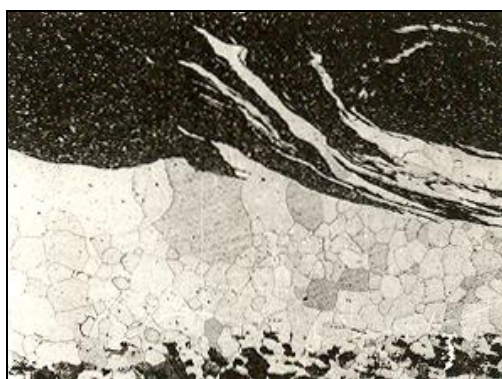
Karakterističan izgled mikrostrukture na liniji spoja u žarenom stanju prikazan je na sl.5. Zapaža se da je, kao posledica difuzije ugljenika iz Č 1730 u Č 7680, došlo je do formiranja razugljeničene feritne zone u Č 1730 i naugljeničenja Č 7680, sl.5. Posledica difuzije ugljenika je i velika razlika u nivou mikrotvrdoće različitih zona u oblasti spoja, sl.5.



Slika 5: Mikrostruktura trenjem zavarenog spoja Č 7680 sa Č 1730 posle stepenastog žarenja (820 °C/2h+760 °C/5h), 100x

Metalografska analiza zavarenog spoja pokazuje da je linija spoja ravna bez izraženog mešanja čestica Č 1730 i Č 7680. Takav oblik linije spoja ukazuje da se u III fazi procesa ZT čelik u oblasti ravni trenja nalazio u visokoplastičnom stanju, što je preduslov za dobijanje kvalitetnog zavarenog spoja u fazi prokivanja.

Metalografskim ispitivanjem utvrđeno je kod uzoraka sa nižim vrednostima zatezne čvrstoće lokalno prisustvo grešaka tipa mešanja čestica oba čelika, kao i formiranje karbidne ravni, sl.6. i 7.



Slika 6: Lokalno mešanje čestica Č 1730 i Č 7680, 100x



Slika 7: Lokalno karbidno polje u Č.7680 u centru šipke, 4x

Lokalno mešanje čestica oba OM ukazuje da se u III fazi trenja, neposredno pre prokivanja, proces deformacije odvijao po većoj dubini, a ne u optimalnim uslovima (deformacija i poliranje tankih površinskih slojeva).

Karakteristična greška trenjem zavarenih spojeva ovih čelika je i formiranje karbidnih polja u Č 7680. Ova polja, koja se smatraju neprovarima [6, 7], se na prelomu uzorka pokazuju u obliku sjajnih koncentričnih krugova, sl.7. Potpuno istiskivanje ovih karbida van ravni trenja se može postići samo pri ZT sa optimalnim parametrima. Naime karbidna polja se teže razbijaju i istiskuju u zonama blizu obima šipke, u kojima su pri sabijanju aksijalni naponi niži nego u dubljim zonama, dok tangencioni naponi prelaze iz pritisnih u zatezne. Ista se takođe teško istiskuju i iz centralnog dela šipke u kome je stanje napona trodimenzionalno sabijanje [8].

Analizirajući uticaj Pt i Ps na oblik linije spoja zaključuje se da se optimalan izgled linije spoja (dosta ravna linija bez lokalnih mešanja čestica OM) i karbidnih polja obezbeđuje pri svim režimima ZT sa Pt = 80 i 90 MPa (pri Vt = 15 s).

U pogledu uticaja vremena trenja zapaža se da se povoljni oblici linije spoja dobijaju posle ZT sa Vt = 13-16 s.

5. ZAKLJUČAK

Realizovani planovi eksperimenta su projektovani na bazi prethodnih saznanja i tehnoloških proba. Pri tome su, u cilju smanjenja broja eksperimenata, projektovana dva plana sa manjim brojem eksperimenata.

Na bazi ukupni rezultata, za zavarivanje trenjem Č 7680 sa Č 1730 prečnika 10 mm, kao optimalan usvojen je režim: Pt = 80 MPa, Vt = 5s, Ps = 170 MPa.

6. LITERATURA

- [1] A.N. Dobrovidov i dr., Raspredelenie ugleroda v zone svarnoga soedinenija zagatovok koncevoga instrumenta, MiTOM, 9/1975.
- [2] A.N. Papandopuho, G.D. Tkačevskaja, Struktura metalla blestjaščih kolec neprovara pri svarke treniem bistrorežuščih stalej, MiTOM, 2/1977.
- [3] Tehnički uslovi, FRA, Čačak
- [4] G.M.Savin, V.I. Tuljčij, Spravočnik po koncentraci naprjaženij, Višča škola, Kiev, 1976.
- [5] K.G.K. Mirti, S. Sundaresen, Parameter optimisation in friction welding dissimilar materials, Metal Construction, 1983.
- [6] G.Dennin, Optimierung von Einstellwerten für das Reibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb, Fachinformationen von KUKA, Augsburg.
- [7] Ćirić R., Čantrak S., Raić K., Rudolf R. and Anžel I., Distribution of the Carbide Phase in the Viscoplastic Layer during the Rotational Friction-Welding of Various Steels, Journal Metals and Materials international, Vol 15, No. 5 (2009), pp. 831-841.
- [8] V.I.Vilj, Svarka metollov treniem, Mašinstroenie, Moskva, 1970.