



D. Veljić, N. Radović, A. Sedmak, M. Perović

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA POSTUPKOM ZAVARIVANJA TRENJEM ALATOM

WELDING TECHNOLOGY OF ALUMINIUM ALLOYS USING FRICTION STIR WELDING

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791.44:669.715

Rad primljen / Paper received:

Decembar 2009.

Ključne reči: Zavarivanje trenjem alatom, tehnologija zavarivanja, aluminijumske legure, alat, brzina rotacije, brzina translacije, zavareni spoj.

Izvod

Cilj rada je osvajanje tehnologije zavarivanja aluminijumskih legura postupkom zavarivanja trenjem alatom (FSW).

Zavarivanje trenjem alatom predstavlja jedan od najsavremenijih postupaka, sa velikom perspektivom dalje primene, pošto pruža najraznovrsnije mogućnosti za zavarivanje raznorodnih materijala.

U radu su analizirani eksperimentalni rezultati sučeono zavarenih spojeva aluminijumskih ploča zavarenih postupkom zavarivanja trenjem alatom. Izvršeno je poređenje raspodele tvrdoće u zavarenom spoju u zavisnosti od parametara zavarivanja odnosno količine unete toplote u zoni zavarivanja, debljine ploča i tipa aluminijumske legure.

Adresa autora / Author's address:

D. Veljić, Montaža Montenegro, Bohinjska 18, 81000 Podgorica, Crna Gora.

N. Radović, Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Srbija.

A. Sedmak, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd, Srbija.

M. Perović, Privredna komora Crne Gore, Novaka Miloševa 29, 81000 Podgorica, Crna Gora.

Keywords: Friction Stir Welding, welding technology, aluminium alloys, tool, rotation speed, translational speed, weld joint.

Abstract

The objective of this paper is a development of welding technology of aluminium alloys by Friction Stir Welding (FSW).

FSW is a very modern welding proces with a great future use, primarily due to a variety of possible combinations of disimilar materials to be welded.

In this paper experimental results of butt welds for the friction stir welding of aluminium alloys are analysed. A comparison hardness distribution in the welds was done considering welding parameters, that is the quantity of heat in the welding zone, panels thickness and aluminum alloy type.

UVOD

Zavarivanje trenjem alatom (FSW) je razvijeno i patentirano od strane Instituta za zavarivanje (TWI, Kembridž, UK) u decembru 1991 god. [1-2] sa motivom da prevaziđe probleme koji se javljaju pri zavarivanju pre svega aluminijumskih legura procesima u kojima dolazi do topljenja. Od vremena nastanka proces se neprestano poboljšavao i njegov spektar mogućnosti rastao. FSW je proces spajanja kombinacijom toplote i mehaničkog rada za dobijanje spojeva visokog kvaliteta, bez uobičajenih grešaka koje su karakteristične za proces topljenja. FSW je posebno pogodno za spajanje aluminijumskih legura sa velikim rasponom debljina ploča [3]. Moguće je zavariti aluminijumske limove debljine do 50 mm u jednom prolazu, odnosno do 75 mm debljine formiranjem dvostranog zavara. Pored mogućnosti spajanja gotovo svih vrsta aluminijumskih legura, danas je moguće ovim postupkom uspešno zavarivati: bakar i njihove legure, olovo, titanijum i njegove legure, legure

magnezijuma, cink, meki čelik, nerđajući čelik, legure nikla, kao i različite kombinacije raznorodnih spojeva (aluminijumske legure serije 2000 i/ili 7000 sa drugim Al legurama, Al legure i legure Mg, Al legure i legure Cu) [4]. Ovaj postupak je našao industrijsku primenu u brodogradnji, avioindustriji, proizvodnji šinskih vozila, automobilskoj industriji, proizvodnji kosmičkih letilica od aluminijumskih legura velike čvrstoće [5]. Zavaruju se ploče, limovi, cilindri, sklopni delovi.

Sam proces ne zahteva upotrebu dodatnog materijala, zaštitnog gasa, a pošto je automatizovan nije neophodno korišćenje visokokvalifikovane radne snage. Radna sredina u kojoj se izvodi ovaj postupak zavarivanja je čistija, nema štetnih isparavanja, dima, neprijatnih mirisa, ultravioletnih i drugih štetnih zračenja. Nije potrebna posebna priprema površina, ivica delova koji se zavaruju što umanjuje troškove zavarivanja ovih legura. Mali dovod toplote (proizveden trenjem) na mestu zavarivanja obezbeđuje minimalna



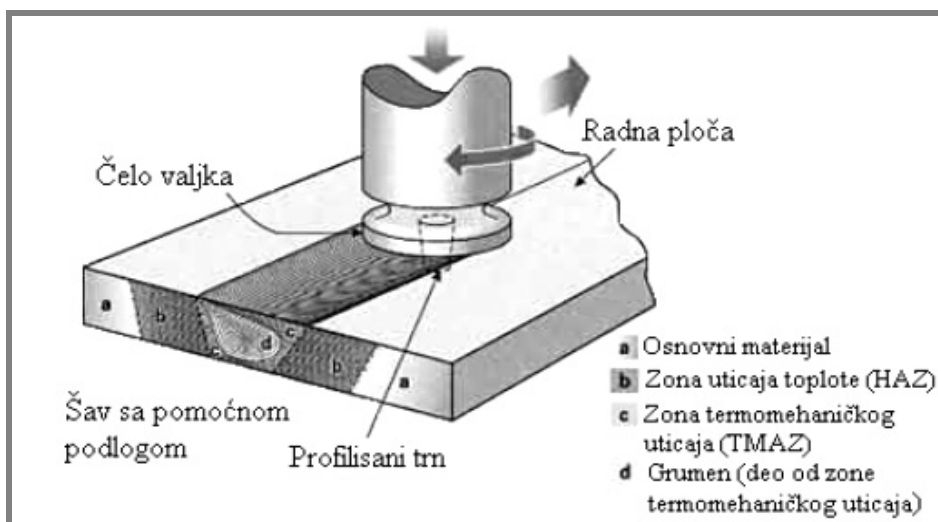
krivljenja i skupljanja. Ovim postupkom zavarivanja dobijaju se zavareni spojevi bez toplih prslina i poroznosti što je bila prateća pojava kod postupaka zavarivanja topljenjem. Takođe, dobija se kvalitetan zavareni spoj odličnih mehaničkih karakteristika [6].

OSNOVI PROCESA

Zavarivanje trenjem alatom se izvodi na sledeći način:

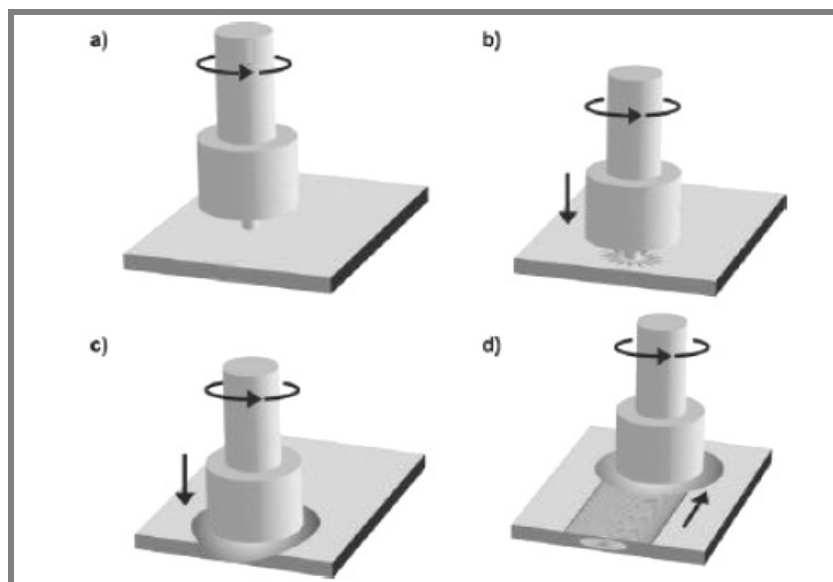
Dve ploče koje treba da se zavare sučeljavaju se (moguć je preklopni spoj ili druge konfiguracije) i stežu za radnu ploču mašine. Rotacioni FSW alat je zariven

unutar ploča na liniji spajanja i kreće se duž nje, formirajući spoj [7-11]. Radni deo uređaja - alat za zavarivanje sastoji se od dva koncentrična dela koji rotiraju velikom brzinom, valjka i trna (slika 1). Trn je manjeg prečnika, najčešće koničnog oblika i može biti sa navojem, žlebovima ili drugačije profilisan. Dužina trna zavisi od dubine penetracije FSW. Da bi se napravila puna penetracija, kod čeonog zavarivanja, trn je nekoliko stotih od milimetra kraći nego debljina ploče. Valjak je većeg prečnika od trna. Prečnik valjka je značajan za proces zavarivanja.



Slika 1: Šematski prikaz procesa zavarivanja trenjem pomoću alata (FSW) [10]

Figure 1: Friction Stir Welding – sketch of the process (a) Base material; (b) Heat Affected Zone – HAZ; (c) Thermomechanically Affected Zone (TMAZ); (d) Nugget – part of TMAZ [10]



Slika 2: Ilustrovana šema FSW procesa: a) rotacioni alat pre kontakta sa radnim komadom, b) vrh alata (trn) u kontaktu sa radnim komadom, stvaranje toplote trenjem, c) valjak alata u kontaktu sa radnim komadom, proširenje toplotne zone, d) relativno kretanje rotacionog alata u odnosu na radni komad, formiranje zavarenog spoja [12]

Figure 2: Sketch of FSW welding (a) rotating tool before contact with plates; (b) tool pin in contact with plates - generation of heat and widening of heating zone; (d) relative movement of rotating tool and plates – production of welded joint [12]



Da bi proces zavarivanja otpočeo radni deo uređaja (trn) mora da formira početnu rupu, odnosno rupu u radnom komadu koji se zavaruje (sika 2b).

Trn se zariva unutar radnog komada sve dok valjak ne napravi kontakt sa gornjom površinom radnog komada sa dovoljnim pritiskom da zadrži materijal unutar zone zavarivanja i proizvede dovoljnu toplotu trenja rotacijom da bi omogućio pravilno odvijanje procesa zavarivanja (slika 2c). Proizvedena toplotna energija zagreva limove (delove) koji se spajaju na temperaturi koja odgovara temperaturi tople plastične prerade – testasto stanje (npr. do 0.8T topljenja, za većinu aluminijumskih legura maksimalna temperatura zavarivanja ne prelazi 450°C). Istovremeno, trn koji rotira unutar zagrejene obe ploče dodatno zagreva materijal trenjem, svojim prednjim delom, krećući se u pravcu zavarivanja i mehanički meša materijal obe ploče (slika 2d).

Na taj način se materijali zagrejani na visoku temperaturu mehanički mešaju, te se primenom spoljašnjeg opterećenja koje se prenosi sa radnog stola kuje metal šava. Koren šava se formira prema obliku pomoćne podloge, dok je lice šava glatko i ravno zahvaljujući širem delu alata. Ovaj postupak omogućava da se u toku zavarivanja izbegne faza topljenja, te se time otvara mogućnost efikasnog zavarivanja legura koje poseduju livenu strukturu i

izbegavaju se sve vrste grešaka koje ona podrazumeva (poroznost, segregacije..). Tokom mehaničkog mešanja dolazi do usitnjavanja strukture i poboljšanja mehaničkih osobina. Veličina zrna u zoni b, c i d na slici 1 može biti manja od veličine zrna osnovnog materijala, pa se može desiti da mehaničke osobine zavarenog spoja prevazilaze mehaničke osobine osnovnog materijala. Na slici 1 šematski je prikazan proces zavarivanja FSW sa strukturnim zonama.

EKSPERIMENTALNI DEO

Za zavarivanje trenjem alatom je korišćen alat napravljen od Cr-Mo alatnog čelika H13 (ASTM A681). Prečnik trna alata iznosi 6mm, a valjka 18mm (slika 1). Uzorci su napravljeni na modifikovanoj mašini alatki – glodalici. Bilo je potrebno obezbediti rotaciju alata, preko obrtnog vretena, pravolinijsko kretanje alata, dovoljan pritisak alata na radni komad, geometrijsku postojanost (krutost mašine) i dobro pričvršćivanje radnih komada za radni sto.

U tabeli 1 prikazani su vrednosti parametara zavarivanja korišćeni za izvođenje ovih eksperimenata. Dati su intervali u kojima su se kretale vrednosti brzine rotacije alata pošto nije bilo mogućnosti da se odrede tačne vrednosti, jer se radi o modifikovanoj mašini alatki za ovaj postupak zavarivanja.

Tabela 1: Vrednosti primenjenih parametara zavarivanja

Table 1: Parameters applied in friction stirr welding

Broj uzorka	Debljina uzorka, mm	Prečnik trna alata, mm	Prečnik valjka alata, mm	Brzina rotacije alata o/min	Brzina zavarivanja
2 (slika 3)	6.5	6	18	1500-2000	12.5 mm/s
3 (slika 4)	6.5	6	18	1000-1500	16 mm/s
4 (slika 5)	3 m	6	18	1000-1500	16 mm/s
8 (slika 6)	10 (ob. zav.)	6	18	1000-1500	16 mm/s

Priprema uzoraka za ispitivanje makrostrukture vršena je klasičnim metodama brušenja i poliranja, a nagrizanje je vršeno u rastvoru koji je sadržao 12ml HCl + 6ml HNO₃ + 1ml HF + 1ml H₂O. Vreme nagrizanja je bilo oko 10 sekundi.

Izvršena su poređenja raspodele tvrdoće (HV₅) u zavarenom spoju u zavisnosti od parametara zavarivanja odnosno količine unete toplote u zoni zavarivanja, debljine ploča i tipa aluminijumske legure i makrostrukturna i radiografska ispitivanja.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na slikama 3, 4 i 5 prikazana je raspodela tvrdoće (HV₅) u poprečnom preseku jednostrano zavarenih spojeva. Zavareni spojevi su izrađeni od ploča termički neojačane legure aluminijuma serije 5000. Tvrdoća se, krećući se od osnovnog materijala kroz zonu uticaja toplote i zonu termomehaničkog uticaja prema grumenu, postepeno povećava. Visoka tvrdoća u zoni

mešanja je posledica sitnozrne strukture; ovaj efekat je najjače izražen u zoni termomehaničkog uticaja [13,14]. Pretpostavljeno je da je povećanje tvrdoće posledica prisustva deformisanih zrna i visoke gustine dislokacija [14]. Na slikama 3 i 4 se mogu uočiti razlike profila tvrdoće poprečnog preseka zavarenih spojeva koji su iste debljine i od iste legure aluminijuma. Tvrdoća u grumenu metala šava na slici 3 iznosi 32.6 HV, a na slici 4 iznosi 36 HV.

Razlog veće tvrdoće zavarenog spoja na slici 4 je u manjem unosu toplote u zoni zavarivanja. Smanjenjem broja obrtaja alata i povećanjem brzine zavarivanja (tabela 1) postignut je manji unos toplote, a time povećana brzina hlađenja zavarenog spoja. Kao rezultat toga dobijena je sitnozrna struktura u grumenu metala šava usporavanjem procesa rekristalizacije. U zoni termomehaničkog uticaja iz istog razloga nije smanjen broj dislokacija u tolikoj meri kao u zavarenom spoju sa većim unosom toplote, pa time ni tvrdoća.



Na slici 5 vrednost tvrdoće u poprečnom preseku zavarenog spoja je veća od vrednosti tvrdoće u poprečnom preseku zavarenih spojeva na slikama 3 i 4. Osnovni razlog je debljina aluminijumskih ploča koje su zavarene.

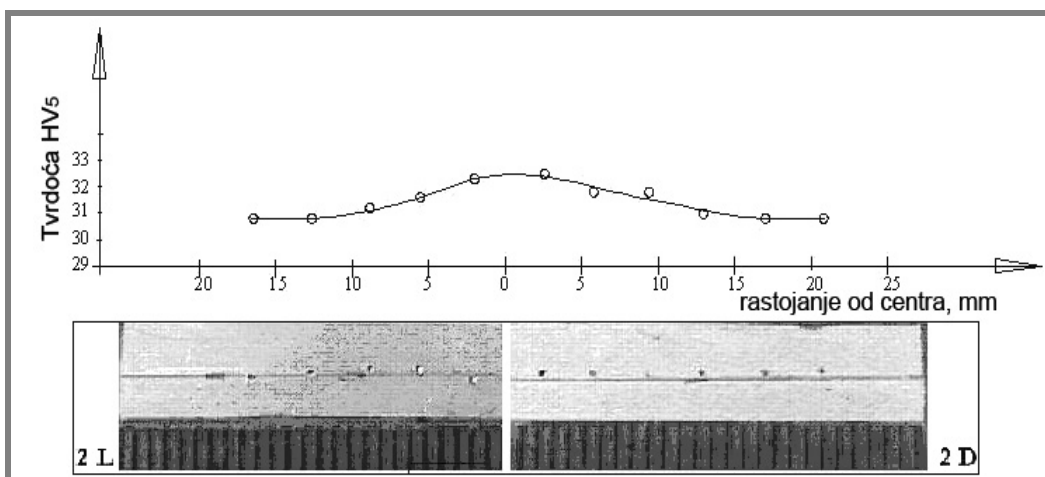
Na slici 5 prikazan zavareni spoj dobijen spajanjem ploča debljine 3mm, a na slikama 3 i 4 spajanjem ploča debljine 6.5 mm. Za iste parametre zavarivanja i isti materijal vrednost tvrdoće u poprečnom preseku zavarenog spoja je veća kod tanjih ploča, jer je brže odvođenje toplote, odnosno hlađenje metala šava.

Na slici 6 prikazan je raspored tvrdoće u poprečnom preseku uzorka br.8. Ovaj zavareni spoj je izrađen obostranim zavarivanjem ploča (prolaz 1 i 2) debljine 10 mm, FSW postupkom. Ploče su od termički ojačane legure aluminijuma serije 6000.

Karakteristično za ovu leguru aluminijuma, ojačanu taloženjem, je "W" oblik profila tvrdoće poprečnog

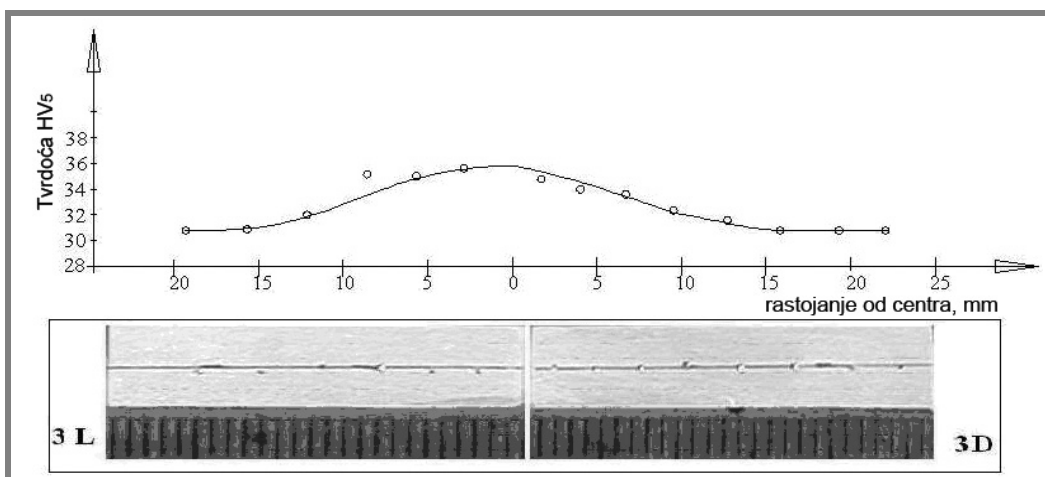
preseka zavarenog spoja FSW postupkom. U grumenu metala šava zahvaljujući termo-mehaničkom režimu nije prisutan talog, tako da se povećanje tvrdoće u ovoj oblasti pripisuje sitnozrnoj strukturi.

U zoni uticaja toplote, bliže grumenu, prisutan je grub (krupan) talog: broj čestica je velikim delom smanjen, a prosečni prečnik je povećan. Ovakvo ponašanje je posledica dejstva toplote generisane u toku procesa, pošto je dovedena toplota izazvala rastvaranje sitnih čestica taloga na račun krupnih, pa je u finalnoj strukturi prisutan manji broj većih čestica. Sa povećanjem razdaljine od grumena, broj krupnih čestica se smanjuje i ponovo je prisutna mikrostruktura osnovnog materijala. Iz ovog razloga najmanja tvrdoća poprečnog preseka zavarenog spoja je u ZUT-u, bliže grumenu metala šava. Grumen je na nivou tvrdoće između ZUT-a i osnovnog materijala [7, 8, 10, 14]. Na slici 6 mogu se uočiti karakteristične "W" krive za prolaz 1 i 2.



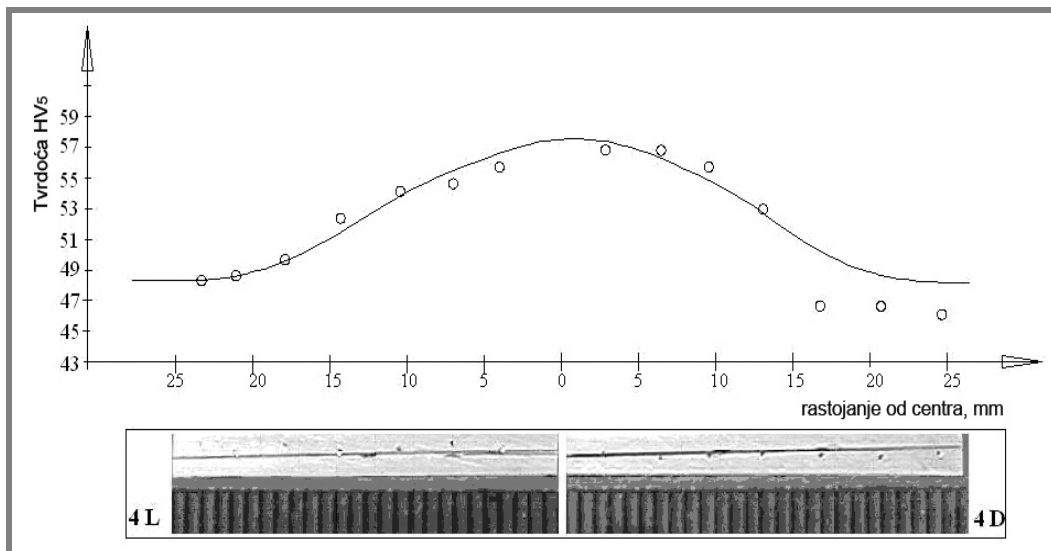
Slika 3: Raspodela tvrdoće u poprečnom preseku sučeono zavarenom spoju ploča debljine 6.5 mm (uzorak 2), izrađenog od termički neojačane legure aluminijuma

Figure 3: Hardness distribution in cross section of welded 6.5mm plates (specimen 2), fabricated of Al alloy serie 5000



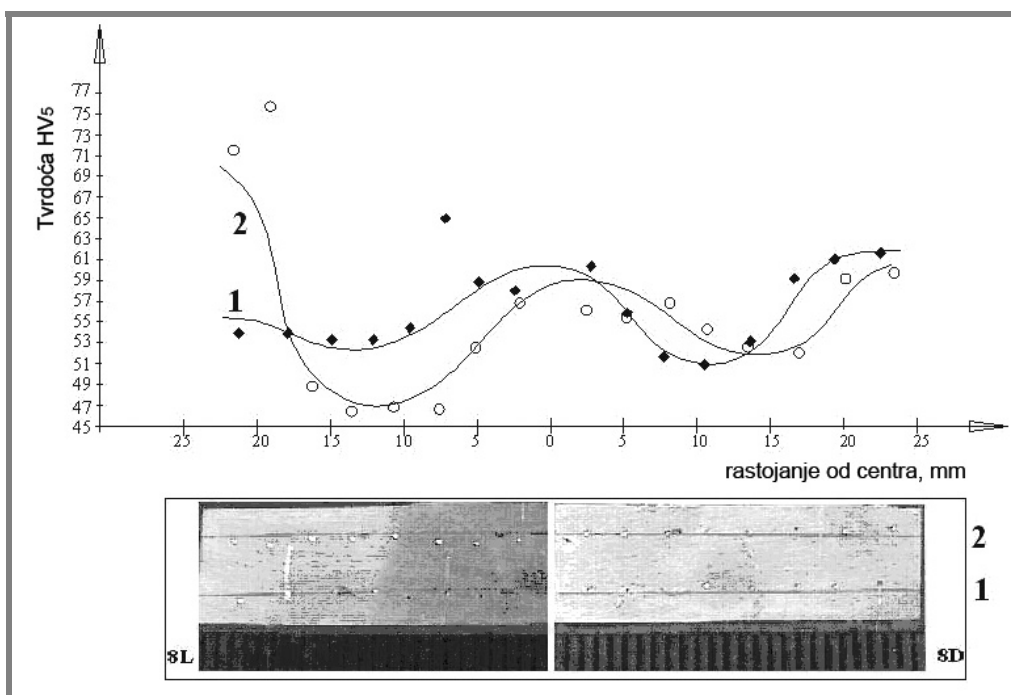
Slika 4: Raspodela tvrdoće u poprečnom preseku sučeono zavarenog spoja ploča debljine 6.5 mm (uzorak 3), izrađenog od termički neojačane legure aluminijuma

Figure 4: Hardness distribution in cross section of welded 6.5mm plates (specimen 3), fabricated of Al alloy serie 5000



Slika 5: Raspodela tvrdoće u poprečnom preseku sučeono zavarenog spoja ploča debljine 3 mm (uzorak 4), izrađenog od termički neojačane legure aluminijuma

Figure 5: Hardness distribution in cross section of welded joint 3mm plates (specimen 4), fabricated of Al alloy serie 5000



Slika 6: Raspodela tvrdoće u poprečnom preseku sučeono zavarenog spoja ploča debljine 10 mm (uzorak 8), izrađenog od termički ojačane legure aluminijuma. Uzorak je obostrano zavaren

Figure 6: Hardness distribution in cross section of welded joint 10mm plates (specimen 8), fabricated of Al alloy serie 5000. Specimen welded on both sides

Izgled makrostrukture poprečnog preseka ovog uzorka dat je na slikama 7 i 8. Na njima se mogu uočiti sve zone karakteristične za zavareni spoj FSW procesa: grumen, zona termomehaničkog uticaja, zona uticaja toplote i osnovni materijal. Zone u prolazu broj jedan su približno simetrične, što daje približno simetričnu sliku profila tvrdoće. U prolazu broj dva desna strana zavarenog spoja je pretrpela manje deformacije i manji

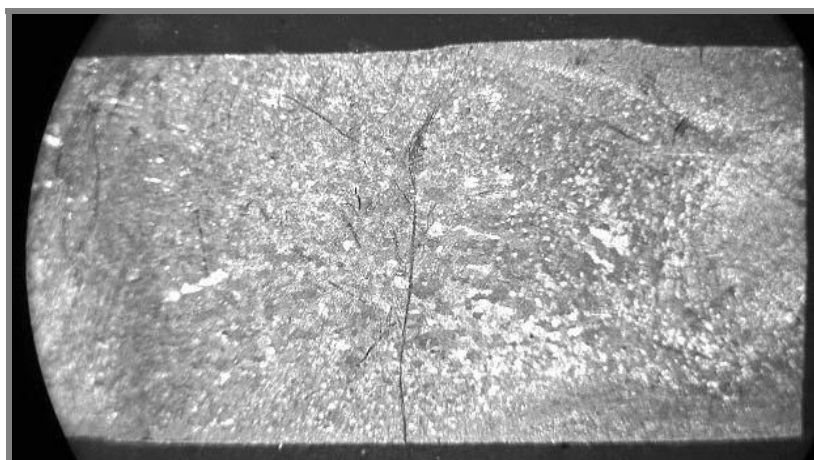
unos toplote, što je za posledicu imalo manji pad tvrdoće u ZUT-u na toj strani. Predpostavlja se da je ova nepravilnost nastala zbog nedovoljnog pritezanja radnog komada za radni sto mašine. Na istoj strani se pojavila, najverovatnije, greška - tunel na isturenoj strani, slika 8.

To je rezultat nedovoljnog transporta materijala oko igle alata do isturene strane [13,14]. Tunel najčešće nastaje



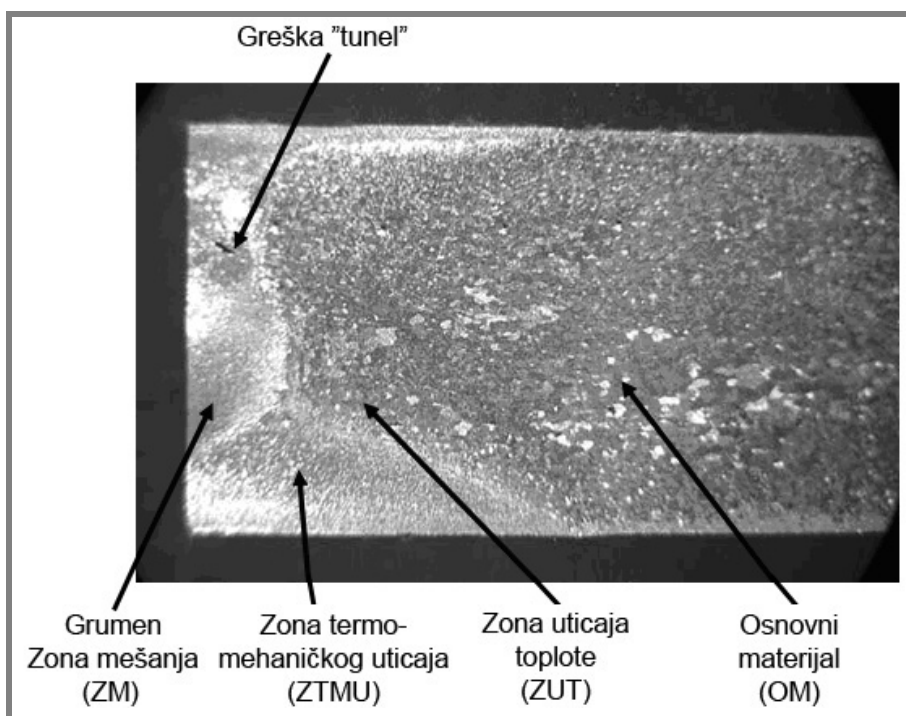
kada alat napreduje velikom brzinom. To je zapreminska greška koja se može otkriti na radiografskom snimku, slike 9-12. Zbog veoma ponovljive prirode postupka zavarivanja trenjem pomoću alata, tunel je neprekidan, ako je prisutan. Ova

greška se može izbeći pravilnim izborom parametara zavarivanja - brzine rotacije i brzine zavarivanja alata. Predpostavlja se da je neznatni pad tvrdoće desne strane zone mešanja, u drugom prolazu, posledica ove greške slika 6.



Slika 7: Makrostrukturni izgled levog dela poprečnog preseka zavarenog spoja. Uzorak broj 8, debljina uzorka 10 mm

Figure 7: Specimen 8 - Macrostructure of left part. Specimen width 10 mm



Slika 8: Makrostrukturni izgled desnog dela poprečnog preseka zavarenog spoja. Uzorak broj 8, debljina uzorka 10 mm

Figure 8: Specimen 8 - Macrostructure of right part. Specimen width 10 mm

Na slikama 9, 10 i 11 su radiografski snimci uzoraka 2, 3 i 4. Na levoj strani lica metala šava, odnosno isturenoj strani gdje se poklapaju smerovi vektora brzine zavarivanja i obimne brzine rotacije alata, formira se ivica od metala šava koji se kotrlja preko osnovnog metala. Ova ivica se često naziva "bljesak" ("flash") [13,14]. Ona može biti minimizirana, ali ne i

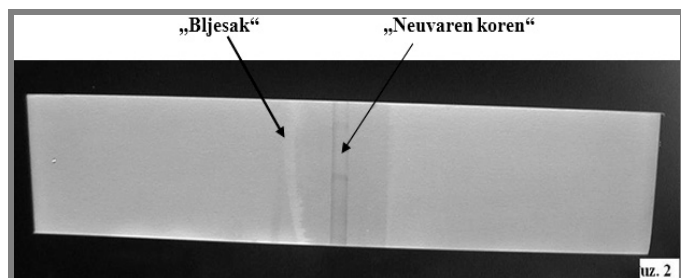
eliminirana, pravilnim izborom parametara zavarivanja i dizajna alata.

Na primer, korišćenjem alata sa profilisanim čelom valjka i optimalnom silom pritiska čela alata na ploče koje se zavaruju. Profilisano čelo valjka alata može da ima na sebi udubljenja u vidu spirale, koncentričnih krugova ili lopatica [10,14-16].



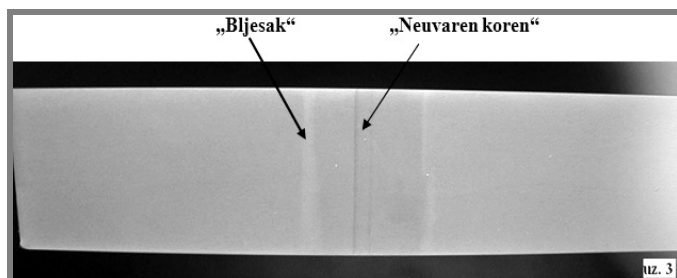
Udubljenje je dizajnirano da obezbedi rezervoar materijala iznad površine lica metala šava, olakša prenos materijala oko alata, smanji "bljesak" na isturenoj strani metala šava i stanjenje ploče u zoni zavarivanja.

Na snimcima FSW uzoraka 2 i 3 (slike 9 i 10) pretpostavlja se da su prisutne greške, koje se kod



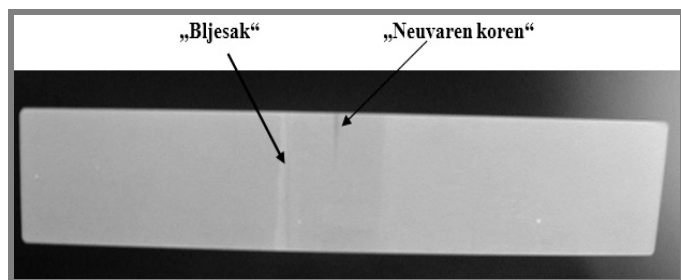
Slika 9: Radiografski snimak zavarenog spoja - uzorak broj 2, debljina uzorka 20 mm

Figure 9: Specimen 2 - X-ray examination, Specimen width 20 mm



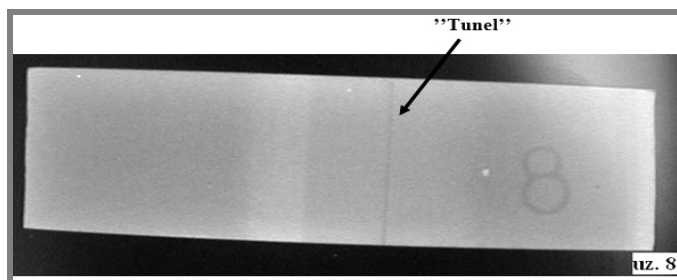
Slika 10: Radiografski snimak zavarenog spoja - uzorak broj 3, debljina uzorka 20 mm

Figure 10: Specimen 3 - X-ray examination, Specimen width 20 mm



Slika 11: Radiografski snimak zavarenog spoja - uzorak broj 4, debljina uzorka 20 mm

Figure 11: Specimen 4 - X-ray examination, Specimen width 20 mm



Slika 12: Radiografski snimak zavarenog spoja - uzorak broj 8, debljina uzorka 20 mm

Figure 12: Specimen 8 - X-ray examination, Specimen width 20 mm

ZAKLJUČCI

Na osnovu prikazanih rezultata zavarenih spojeva dobijenih zavarivanjem trenjem alatom može da se zaključiti sledeće:

- Karakteristično za termički neojačane legure aluminijuma je da se tvrdoća povećava krećući se od osnovnog materijala ka zoni mešanja. Veća tvrdoća u zoni mešanja je posledica rafinacije zrna.
- Kod termički ojačane legure aluminijuma karakterističan je "W" oblik profila tvrdoće poprečnog preseka zavarenog spoja. Najmanja tvrdoća poprečnog preseka zavarenog spoja je u ZUT-u, bliže grumenu metala šava. Grumen je na nivou tvrdoće između ZUT-a i osnovnog materijala. Povećanjem brzine zavarivanja i smanjenjem broja obrtaja alata povećava se vrednost tvrdoće u grumenu, dok u ZUT-u ostaje relativno mala.
- Konstatovano je prisustvo greške, tzv. tunela. To je zapreminska greška nastaje pri velikoj brzini zavarivanja.

zavarenih spojeva dobijenih elektrolučnim postupkom zavarivanja zovu neprovaren koren. Ova greška je nastala najverovatnije zbog nedovoljne dužine trna alata, tako da je prisutna celom dužinom metala šava. Kod uzorka 4 (slika 11), ova greška se javila pri završetku zavarivanja, i nastala je najverovatnije prevremenim vađenjem alata.

- Na isturenoj strani, gdje se poklapaju smerovi vektora brzine zavarivanja i obimne brzine rotacije alata, formira "bljesak" ("flash").
- Manjak penetracije korene strane je obično rezultat većeg rastojanja između podloge i donjeg dela FSW alata.

LITERATURA

- [1] Thomas W. M., Nicholas E. D., Needham J. C., Murch M. G., Temple-Smith P. and Dawes C. J. (TWI): 'Improvements relating to friction welding'. European Patent Specification EP 0 615 480 B1. <http://www.espacenet.com/dips/viewer?PN=EP0615480>
- [2] Midling O. T., Morley E. J., Sandvik A. (Norsk Hydro, rights transferred to TWI): 'Friction stir welding'. European Patent Specification EP 0 752 926 B1. <http://www.espacenet.com/dips/viewer?PN=EP0752926>
- [3] A. P. Reynolds, W. D. Lockwood, and T. U. Seidel, "Processing Property Correlation in Friction Stir Welds," in: Aluminum Alloys: Their Physical and Mechanical Properties. Materials Science Forum, 2000, Vol. 331-3, pp. 1719-1724.
- [4] <http://www.twi.co.uk/j32k/getFile/fswmat.html>, "Friction Stir Welding - Materials and thicknesses"



- [5] <http://www.twi.co.uk/j32k/getFile/fswapp.html> , "Friction Stir Welding – Applications"
- [6] <http://www.twi.co.uk/j32k/getFile/fswproc.html> , "Friction Stir Welding - Process advantages"
- [7] Anthony P. Reynolds, " Friction Stir Welding of Aluminium Alloys", University of South Columbia, South Carolina, U.S.A.
- [8] Thomas W. M., Nicholas E. D., Needham J. C., Murch M. G., Temple-Smith P. and Dawes C. J. (TWI): 'Improvements relating to friction welding'. European Patent Specification EP 0 615 480 B1. <http://www.espacenet.com/dips/viewer?PN=EP0615480>
- [9] Midling O. T., Morley E. J., Sandvik A. (Norsk Hydro, rights transferred to TWI): 'Friction stir welding'. European Patent Specification EP 0 752 926 B1. <http://www.espacenet.com/dips/viewer?PN=EP0752926>
- [10] Stephan W Kallee, E Dave Nicholas, Wayne M Thomas , " Friction Stir Welding: Invention, Innovations and Industrialisation" , TWI Ltd, Granta Park, Great Abington, Cambridge CB1 6AL, United Kingdom <http://www.frictionstirwelding.co.uk/> and <http://www.eurostir.co.uk/>
- [11] Diane L. Hallum, " A promising new process, friction stir welding, uses readily available equipment to create high-quality joints in hard-to-weld alloys", October 2000 Forming and Fabricating Vol. 7 No. 10.
- [12] M. W. Mahoney, R. Mishra, T. Nelson, " High Strain Rate Superplasticity in Thick Section 7050 Aluminium Created by Friction Stir Processing" in Proceedings of the Third International Symposium on Friction Stir Welding, Kobe Exhibition Center, Port Island, Kobe, Japan, September 2001 (distributed by TWI on CD)
- [13] D. Veljić, Tehnologija zavarivanja aluminijumskih legura trenjem pomoću alata. Magistarski rad, MF. Beograd, 2006.
- [14] R.Nandan, T.DebRoy, H.K.D.H Bhadeshia, Recent Advances in Friction Stir Welding: process, weldment structure and Properties, Progress in Materials Science 53 (2008) 980-1023
- [15] P. Vilaca, E. Fraga, J. C. de Sa, L. Quintino: State-of-the-Art in the Modelling of Friction Stir Welding, IIW Doc. IX -2080-04, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 3/2004, 141-148 str.
- [16] D. Stamenković, M. Đurđanović, D. Mitić: Zavarivanje postupkom "FSW", Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 2/2006, 59-66 str.

Članstvo u strukovnoj asocijaciji DUZS

je referenca za Vaš profesionalni status

Članarina za 2010. godinu je 1500,00 dinara

Uplatom članarine stičete pravo na beneficirane cene

pretplate časopisa (strana MARKETING)

Tekući račun DUZS: 355-1025530-87

Informacije



+ 381 (11) 2850-794 (10-16 h)



duzs@eunet.rs

ITW Welding Products

South-East Europe

Vodovodska 158, 11147 Beograd

Tel: +381-(0)11-2397-391

info@itw-welding.com

<http://www.itw-welding.com>



Predstavništvo ITW Welding Products za jugoistočnu Evropu.
Plasman proizvoda i opreme za zavarivanje proizvođača iz ITW grupe:
Miller, Elga, Bernard, Weldcraft...