

INFORMACIONI MJERNI SISTEM ZA SNIMANJE TEMPERATURE KOD PROCESA SPAJANJA MATERIJALA DEFORMISANJEM

THE INFORMATION MEASURING SYSTEM FOR TEMPERATURE RECORDING IN THE MATERIALS JOINING PROCESS BY DEFORMATION



doc. dr Mileta Janjić, prof. dr Milan Vukčević, mr Nikola Šibalić
Univerzitet Crne Gore – Mašinski fakultet, Podgorica

REZIME

U radu je opisan razvijeni informacioni mjerni sistem i ostala oprema za snimanje temperature kod procesa spajanja materijala deformisanjem, odnosno zavarivanja trenjem – FSW. Date su i osnove postupka FSW, kao i princip rada. Suština procesa FSW je u spajanju legura raznih metala (prvenstveno legura aluminijuma) korišćenjem rotirajućeg alata, uz oslobađanje toplote, tako da se materijal plastično deformiše i spaja u čvrstom stanju. U radu je izvršeno zavarivanje materijal od legure aluminijuma AlSi1MnMg, debljine 7.8 mm. Izvršena su mjerenja i dobijeni digitalni podaci koji su obrađeni korišćenjem savremenih računarskih programa.

Ključne riječi: Zavarivanje trenjem – FSW, informacioni mjerni sistem, termo-par, network modul, input modul

ABSTRACT

The paper describes the developed information measuring system and other equipment for temperature recording in the process of joining materials by deformation, or friction stir welding – FSW. Fundamentals of FSW process are given, and also the mode of operation. The essence of FSW is in joining various metal alloys (primarily aluminum alloy) using rotating tools, with heat radiation, so that the material is plastically deformed and join in solid state. This paper includes the welding of plates from aluminum alloy AlSi1MnMg, whose thickness was 7.8 mm. The measurements have done and obtained digital data analyzed using modern computer programmes.

Key words: Friction Stir Welding – FSW, Information Measuring System, Thermo-couple, Network Module, Input Module

1. UVOD

Proces zavarivanja trenjem – FSW, se svojom složenošću posebno izdvaja u oblasti spajanja materijala plastičnom deformacijom. Razvijen je od strane Instituta za zavarivanje (*The Welding Institute – TWI*) iz Velike Britanije početkom 1991. godine, a utemeljio ga je Wayne M. Thomas. Proces spajanja (zavarivanja) materijala se izvodi u čvrstom stanju, bez topljenja i u literaturnim izvorima je prepoznatljiv pod imenom Friction Stir Welding – FSW.

Prvenstveno se koristi za spajanje limova istosrodnih i raznorodnih materijala. Najveću primjenu ima kod zavarivanja limova legura aluminijuma, koje se drugim postupcima dosta teško zavaruju, a koji su veće debljine od 1.2 mm do 50 mm. Postupak FSW je vrlo brzo pronašao svoju primjenu u

brodogradnji, avio i svemirskoj industriji, željezničkoj i drugim industrijama. Prvenstveno se koristi za spajanje limova veće debljine.



Slika 1. Alat za FSW

Kako je za uspješno izvođenje procesa FSW, od velikog značaja poznavanje generisanje toplote u materijalu koji se zavaruje od alata, velika pažnja se posvećuje određivanju parametra temperature.

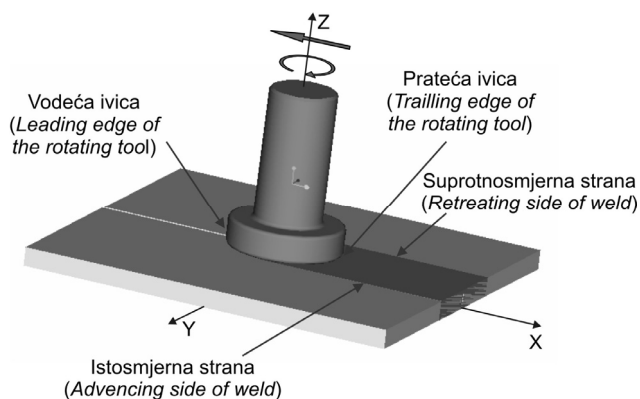
Eksperimentalna istraživanja procesa FSW, izvršena su korišćenjem alata koji je prikazan na Slici 1.

2. PROCES FSW

Proces zavarivanja trenjem se izvodi tako da se na radnom stolu mašine nalaze limovi koje je potrebno spojiti i koji su stegnuti za radni sto. Alat koji se koristi u procesu zavarivanja je cilindričnog oblika i sastoji se iz dva koncentrična dijela koja rotiraju velikom brzinom.

Dio alata većeg prečnika naziva se čelo alata (*shoulder*) dok se dio manjeg prečnika naziva trn alat (*pin*). Rotirajući alat prilazi lagano liniji spoja i zariva se u materijal, pri čemu se stvara toplota. Vrlo je bitno u procesima spajanja zavarivanja trenjem poznavati generisanu toplotu koja se dobija iz dva glavna izvora: a) toplota generisana od trenja između čela alata i površine radnog komada i b) toplota generisana usled plastične deformacije nastala od trna alata [1,4,8,10]. Na ovaj način se povećava temperatura do tople plastične obrade kada se vrši mahaničko miješanje i spajanje materijala, a pri tome se omogućava da se alat kreće u longitudinalnom pravcu odnosno duž linije spajanja (Slika 2.).

Nakon prolaska alata duž linije spajanja ostaje čvrsta faza šava (spoja), gdje gornja ravan ostaje glatka i ravna zahvaljujući čelu alata, dok se donja ravan radnog predmeta formira od podloge na kojoj radni predmet stoji i ona je, takođe, glatka i ravna.

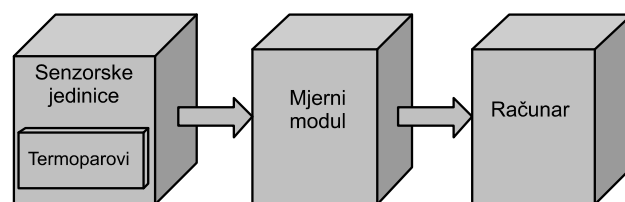


Slika 2. Prikaz odvijanja procesa FSW

3. INFORMACIONI MJERNI SISTEM

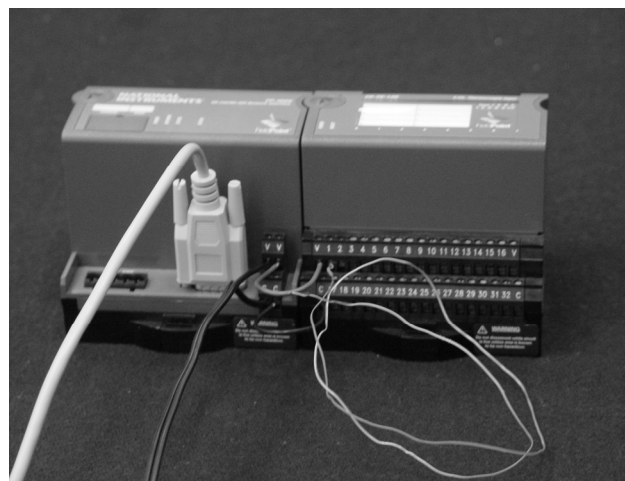
Informacioni mjerni sistem se sastoji od: senzora (termo-parova), mjernog modula i PC računara sa softverom Measurement & Automation Explorer i LabVIEW gdje se vrši obrada mjernog signala, a podaci se dobijaju u grafičkom i data obliku.

Dijagrami dobijeni na ovaj način su u funkciji temperature ($^{\circ}\text{C}$) i vremena (s). Na Slici 3. dat je blok dijagram informacionog mjernog sistema za mjerenje temperature.



Slika 3. Blok dijagram informacionog mjernog sistema

Mjerni modul se sastoji od: mrežnog modula marke "National Instruments" FP-1000, osmokanalnog ulaznog modula za termoparove marke "National Instruments" FP-TC-120 i priključnog terminala sa vijcima marke "National Instruments" FP-TB-1 (Slika 4.).

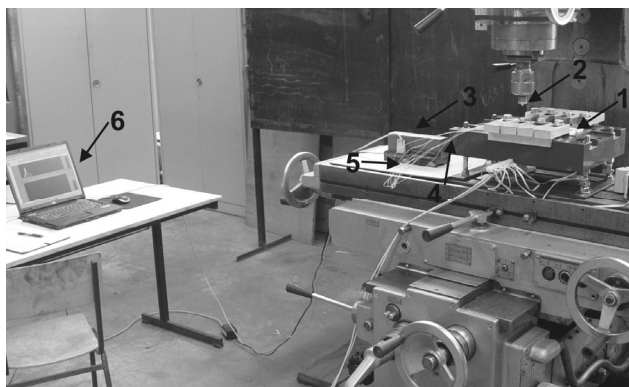


Slika 4. Mjerni modul ("National Instruments" oprema za mjerenje temperature koja radi na principu termo-parova)

Mrežni modul se povezuje sa osmokanalnim ulaznim modulom pomoću paralelnog četrdesetopinskog porta i ima mogućnost rednog dodavanja ulaznih modula tipa FP-TC-120, za onoliko kanala koliko imamo termo-parova. Mrežni modul je priključen na jednosmjerni izvor struje 24 V, a preko devetopinskog standardnog porta za računar.

Na Slici 5. prikazano je istraživačko mjesto za mjerenje temperature sa povezanom mjernom opremom u informacijski mjerni sistem. Dakle, radni komad sa postavljenim termoparovima je povezan preko ulaznog modula sa mrežnim modulom koji je povezan sa PC računarom.

Za akviziciju podataka koristi se program napravljen pomoću LabVIEW softvera čiji je proizvođač takođe "National Instruments".



Slika 5. Prikaz istraživačkog mjesta: 1 – stegnuti radni komadi, 2 – alat za FSW, 3 – mjerni moduli, 4 – prikačeni termo-parovi, 5 – osmokanalni ulazni modul, 6 – računar

3.1. Termo-parovi tipa "k"

Prilikom mjerenja temperature u ovom radu koristiće se termo-parovi tipa k. Termo-par se sastoji od dvije žice: chromel i alumel. Ovim termoparovima je moguće mjeriti temperature u opsegu od 200°C do $+1350^{\circ}\text{C}$. Osjetljivost termopara je $41 \mu\Omega/^{\circ}\text{C}$. Prečnik poprečnog presjeka chromel-a i alumel-a je $\varnothing 0.2 \text{ mm}$.

Chromel se sastoji od 90%Ni i 10%Cr. Električna otpornost chromel-a je $0.706 \mu\Omega/\text{m}$, a tačka topljenja 1420°C .

Alumel se sastoji od 95%Ni, 2%Mn, 2%Al i 1%Si. Električna otpornost alumel-a je $0.294 \mu\Omega/\text{m}$.

Po ANSI standardu chromel je žica žute boje i priključuje se na pozitivni pol mjernog modula, dok je alumel žica crvene boje i priključuje se na negativan pol mjernog modula.

k - faktor za prvu klasu tolerancija je:
 ± 1.5 temperatura između -40°C i $+375^{\circ}\text{C}$,
 ± 0.004 temperatura između $+375^{\circ}\text{C}$ i $+750^{\circ}\text{C}$.

k - faktor za drugu klasu tolerancija je:
 ± 2.5 temperatura između -40°C i $+333^{\circ}\text{C}$,
 ± 0.0075 temperatura između $+333^{\circ}\text{C}$ i $+1200^{\circ}\text{C}$.

3.2. Uređaj za tačkasto zavarivanje termo-parova

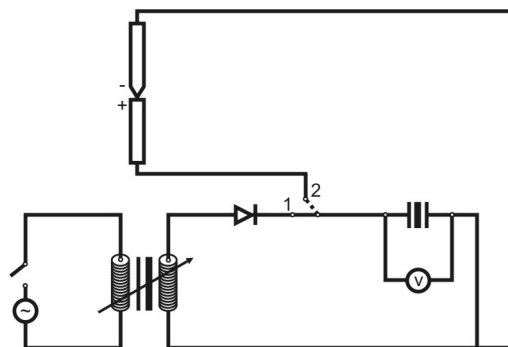
Termo-parovi tipa k spajaće se uređajem koji je napravljen specijalno za ovu namjenu. Tačnost mjerenja uveliko zavisi od kvaliteta zavarenog termo-para. Da bi se smanjila zona zavarivanja i izbjeglo unošenje trećeg materijala u sam spoj žica termo-para, za zavarivanje je korišćena metoda spajanja žica postupkom tačkastog elektro-otpornog zavarivanja.

Uređaj za zavarivanje termo-parova je napravljen u laboratoriji Mašinskog fakulteta u Podgorici. Uređaj je relativno jednostavne konstrukcije, a njegov rad je zasnovan na osobini kondenzatora da u vrlo kratkom vremenu emituje relativno jaku struju. Elektronska šema uređaja prikazana je na Slici 6.

Kapacitet kondenzatora je $c=300 \mu\text{F}$, a nazivni napon $U=24 \text{ V}$. Transformator se napaja strujom 220 V od 50 Hz , a na izlazu daje jačinu struje 16 V , koja se poluprovodničkom diodom pretvara u jednosmjernu struju, kojom se puni kondenzator kada je prekidač u položaju 1 (Slika 6.).

Kada se na voltmetru očitava 16 V tada je kondenzator napunjen. Punjenje kondenzatora traje oko pet sekundi, posle čega se prekidač dovodi u položaj 2. (Slika 6.).

Nakon skidanja izolacije sa krajeva žica termo-para i pozicioniranja između elektroda, dovodenjem prekidača u položaj 2. (Slika 6.), dolazi do eksponencijalnog pražnjenja kondenzatora i zagrijavanja žica termo-para. Pošto je električni otpor u zoni dodira dvije žice termo-para najveći, u toj zoni će doći do topljenja materijala žica termo-para. U trenutku topljenja žica termo-para, spuštanjem gornjeg nosača elektrode vrši se presovanje rastopljenog materijala u zavarivanoj tački i tako se dobija bolja struktura vara nakon očvršćavanja.

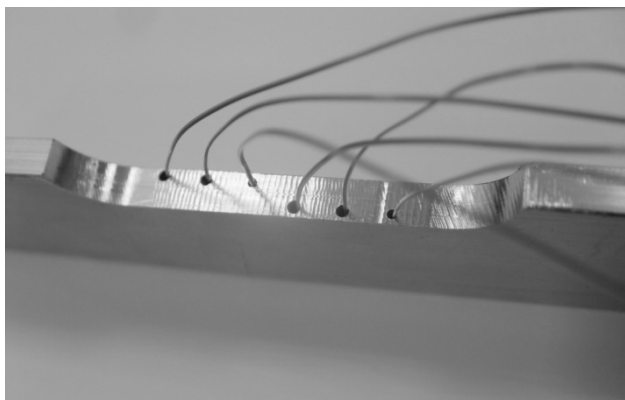


Slika 6. Elektronska šema uređaja za zavarivanje termo-parova

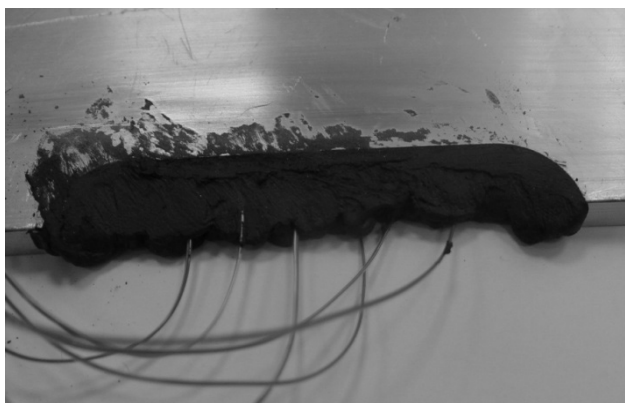
4. PRIPREMA RADNIH KOMADA ZA MJERENJE TEMPERATURE

Da bi se mogla izmjeriti temperatura materijala u toku procesa zavarivanja trenjem – FSW bilo je potrebno obraditi radne komade i izbušiti rupe za termo-parove. Crtež rasporeda rupa u koje se smještaju termo-parovi po visini i dubini, dat je na Slici 7.

U ovako pripremljene radne komade uvlači se šest termo-parova (Slika 8.), koji se lijepe dvokomponentnim ljepilom koje je otporno na visoke temperature do 1600 °C. Ljepilo popunjava zapreminu napravljenog upusta i pripremak ima oblik dat na Slici 9.



Slika 8. Postavljanje termo-parova na mjerne pozicije

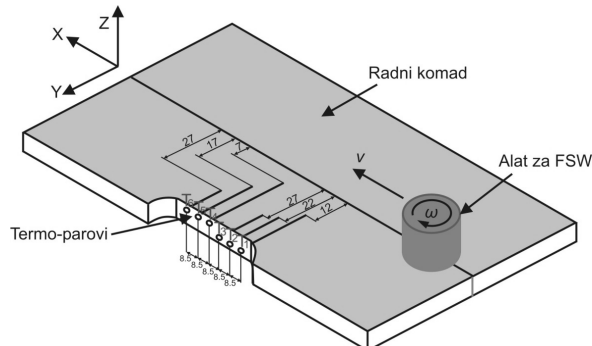


Slika 9. Lijepljenje termo-parova dvokomponentnim ljepilom

5. MJERENJE TEMPERATURE KOD PROCESA FSW

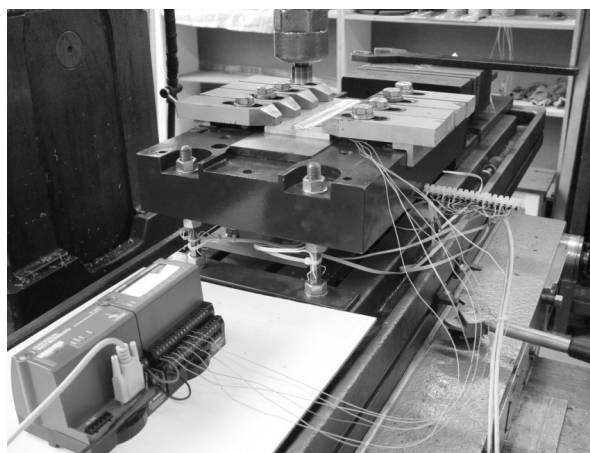
Šema postavljanja termo-parova u odnosu na liniju spajanja data je na Slici 10.

Pozicije mjernih tačaka temperature su izabrane tako da je najbliži termo-par udaljen od trna alata svega 3.06 mm. Na taj način možemo da izmjerimo temperaturu same “grumen” zone, neposredno ispod čela alata.



Slika 10. Šema mjernih tačaka temperature u radnom komadu koji se zavaruje

Usvojeno je mjerenje temperature u šest tačaka. Tri se nalaze 1.75 mm od gornje površine radnog komada, a udaljene su od linije sapajanja 7 mm (termo-par T_4), 17 mm (termo-par T_5) i 27 mm (termo-par T_6). Ostale tri tačke su udaljene 1.75 mm od donje površine radnog komada i udaljene su od linije spajanja 12 mm (termo-par T_1), 22 mm (termo-par T_2) i 27 mm (termo-par T_3). Svih šest termo-parova udaljeni su jedan od drugog za 8.5 mm. Ovaj raspored termo-parova nam omogućava da izmjerimo temperaturu u svim mikrostrukturnim zonama i da imamo potpunu sliku generacije i distribucije toplote kroz materijal. Na Slici 10. prikazani su zavarjeni radni komadi sa postavljenim termo-parovima, koji su povezani u informacijski sistem za mjerenje temperature.



Slika 11. Prikaz mjerenja temperature kod procesa FSW

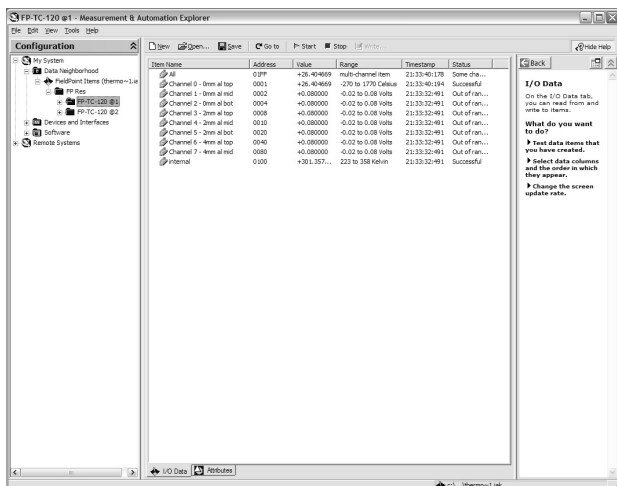
Radni program koji se koristi prilikom mjerenja temperature je softver „Measurement & Automation

Explorer version 3.1.0.3021", čiji je interfejs prikazan na Slici 12.

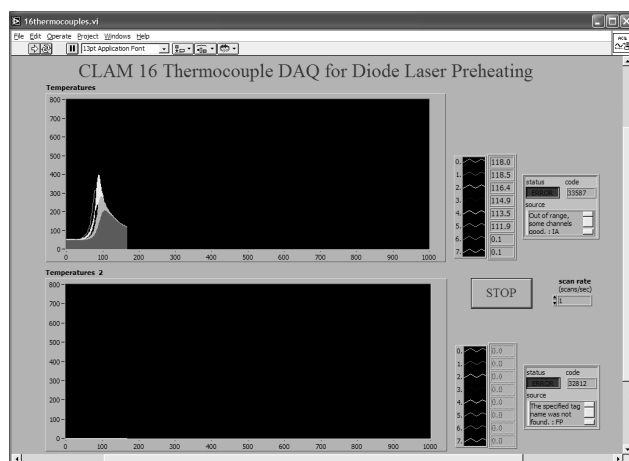
U ovom softveru je napravljen fajl "thermocouples16.iak", koji je prilagođen korišćenom mjer-nom modulu FP-1000 i podešeni su parametri kao što su broj kanala koji se koriste (u našem slučaju šest), kao i izbor jedinica u kojima će se vršiti mjerenje temperature (u našem slučaju stepeni Celzijusove skale).

Za akviziciju podataka koristi se program napravljen pomoću LabVIEW softvera "16thermo-couples.vi", u kojem su izmjerene temperature u svim tačkama eksperimentalnog plana i dobijene vrijednosti u grafičkom i "data" obliku.

Na Slici 13. date su dobijene vrijednosti tem-perature.

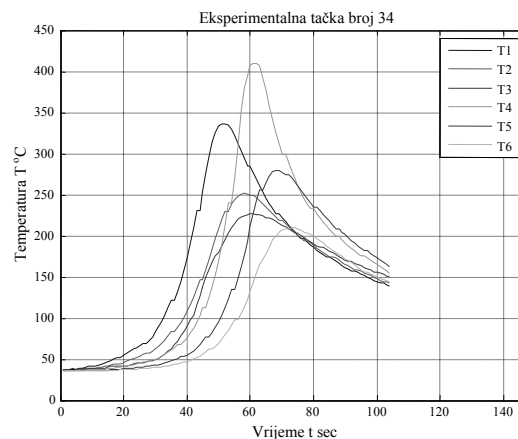


Slika 12. Softver Measurement & Automation Explorer



Slika 13. Eksperimentalno dobijena promjena temperature u funkciji vremena

Ovako dobijeni podaci obrađeni su u program-skom jeziku MATLAB (v. 7.0.). Na Slici 14. prikazan je dijagram izmjerene temperature za pozicije termo-parova T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 i T_6 , u funkciji vremena t .



Slika 14. Dijagram izmjerene temperature

6. ZAKLJUČAK

S obzirom na ukazanu složenost procesa spajanja materijala deformisanja u uvodnom dijelu rada, a posebno procesa zavarivanja trenjem – FSW, neophodno je vršiti precizna mjerenja kod ekspe-rientalnih istraživanja iz ovih oblasti. Za postizanje ovakvog cilja potvrdio se kao pouzdan i praktičan informacioni mjerni sistem koji je opisan u ovom radu.

Informacioni mjerni sistem i ostala korišćena oprema su prilagođeni za mjerenje temperature kod legure aluminijuma AlSi1MgMn, ali se može koristiti i za mjerenje temperature kod drugih vrsta materijala, a takođe i prilagoditi za mjerenja drugih vrsta iz srodnih procesa zavarivanja, kao i procesa obrade deformisanjem i procesima tehničke dijag-nostike.

Obrada digitalnih podataka dobijenih pomoću informacionog mjernog sistema je automatizovana pomoću programa napravljenog u MATLAB-u.

LITERATURA

- [1] Chen M.C., Kovacevic R.: Finite element modeling of friction stir welding-thermal and thermo-mechanical analysis. *International Journal of machine Tools & Manufacture* 43 (2003) 1319–1326.
- [2] Domazetovic V., Janjic M., Savicevic S., Vukcevic M.: The Information Measuring System for Recording Workingpiece Contour find fts Computer Modelling for Bulk Metal Forming fn Open Die. *WSEAS Transactions on Computers*, Issue 11, Volume 4, November 2005.
- [3] Janjić M., Vukčević M., Šibalić N.: Infor-macioni mjerni sistem za snimanje slobodne konture obratka i deformacione sile kod zapremenskog deformisanja. *Tehnička dijag-nostika*, broj 3. 2007.
- [4] Song M., Kovacevic R.: Thermal modeling of friction stir welding in a moving coordinate system and its validation. *International Jour-nal of machine Tools & Manufacture* 43 (2003) 605–615.
- [5] Stanić J.: Tehnološki mjerni sistemi. Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [6] Stanić J., Kalajdžić M., Kovačević R.: Mjerna tehnika i tehnologija u obradi metala reza-njem. Mašinski fakultet, Beograd, 1983.
- [7] Stanković Lj., Uskoković Z.: PC Matlab. Epsilon – Montex, Titograd, 1991.
- [8] Thomas W.: et al 1991 Friction Stir Butt Welding international Patent Application No PCT/GB92/02203. W. Thomas. et al 1995 Friction Stir Butt Welding GP Patent Application No 9125978.8. W. Thomas et al 1995 Friction Stir Butt Welding UP Patent 5.460 317.
- [9] Ulysse P.: Three-dimensional modeling of the friction stir-welding process. *International Jornal of Machine Tools & Manufacture* 42 (2002) 1549–1557.
- [10] Vukčević M., Janjić M., Šibalić N.: Zavariva-nje trenjem (FSW) – suština procesa, termino-logija i pregled istraživanja. *Tehnika*. Beograd 2/2008.