

TEHNOLOŠKO-METALURŠKI
FAKULTET

35/161
(Broj zahteva)

10.06.2013.
(Datum)

UNIVERZITET U BEOGRADU

Veće naučnih oblasti tehničkih nauka
(Naziv veća naučne oblasti i kome se
zahtev upućuje)

Z A H T E V
za davanje saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije

Molimo da, shodno članu 46. st. 5. tačl. 3 Statuta Univerziteta u Beogradu („Glasnik Univerziteta“, broj 131/06), date saglasnost na predlog teme doktorske disertacije:

**„UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA NA SVOJSTVA ZAVARENIH SPOJEVA
ALUMINIJUMSKIH LEGURA DOBIJENIH POSTUPKOM ZAVARIVANJA TRENJEM
ALATOM“**

(pun naziv predložene teme doktorske disertacije)

NAUČNA OBLAST: METALURŠKO INŽENJERSTVO

PODACI O KANDIDATU:

1. Ime, ime jednog od roditelja i prezime kandidata:

IGOR (Zlatko) RADISAVLJEVIĆ

2. Naziv i sedište fakulteta na kome je stekao visoko obrazovanje: Univerzitet u Beogradu-Tehnološko-metalurški fakultet

3. Godina diplomiranja: 2005.

4. Naziv magistarske teze kandidata: /

Upisan na doktorske studije šk. 2008/2009. godine.

5. Naziv fakulteta na kome je magistarska teza odbranjena: /

6. Godina odbrane magistarske teze: /

Obaveštavamo Vas da je **Nastavno-naučno veće,**

(naziv nadležnog tela Fakulteta)

na sednici održanoj **30.05.2013. godine** razmotrilo predloženu temu i zaključilo da je tema podobna za izradu doktorske disertacije.

DEKAN FAKULTETA

Prof. dr Đorđe Janačković

Prilog: 1. Predlog teme doktorske disertacije sa obrazloženjem.

2. Akt nadležnog tela fakulteta o podobnosti teme za izradu doktorske disertacije.

3. Podaci o mentoru

Na osnovu čl. 30. stav 3. Zakona o visokom obrazovanju, čl. 38. Statuta TMF-a i čl. 32. Pravilnika o doktorskim studijama TMF, na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 30.05.2013. godine, doneta

O D L U K A

***o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti
teme i odobrenju izrade doktorske disertacije***

Prihvata se Izveštaj Komisije za ocenu naučne zasnovanosti predložene teme i odobrava izrada ***doktorske disertacije IGORA RADISAVLJEVIĆA, dipl. inž., pod nazivom: „UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA NA SVOJSTVA ZAVARENIH SPOJEVA ALUMINIJUMSKIH LEGURA DOBIJENIH POSTUPKOM ZAVARIVANJA TRENJEM ALATOM“***, uz uslov da Veće naučnih oblasti Univerziteta u Beogradu da saglasnost na predlog teme.

Za mentora se određuje Dr Nenad Radović, vanredni prof. TMF.

Odluku dostaviti: Veću naučnih oblasti na saglasnost, kandidatu, mentoru, Službi za nastavno studentske poslove i arhivi Fakulteta.

D E K A N

Prof. dr Đorđe Janačković

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Игора Радисављевића**, дипл.инж. металургије

Име и презиме ментора: Ненад Радовић

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. D.Glišić, **N.Radović**, A.Koprivica, A.Fadel, Dj.Drobnjak, Influence of Reheating Temperature and Vanadium Content on Transformation Behavior and Mechanical Properties of Medium Carbon Forging Steels, *ISIJ International*, 50 (2010) 601-606 (IF 2009=0.902) ISSN: 0915-1559
2. M.Perovic, D.Veljic, M.Rakin, **N.Radovic**, A.Sedmak, N.Bajic, Friction-Stir Welding Of High-Strength Aluminium Alloys And A Numerical Simulation Of The Plunge Stage, *Materials and Technology* 46 (2012) 215-221 (IF2011=0.801) ISSN 1580-2949
3. A.Fadel, D.Glisic, **N.Radovic**, Dj.Drobnjak, Influence of Cr, Mn and Mo Addition on Structure and Properties of V Microalloyed Medium Carbon Steels, *J. Mater. Sci. Technol.*, 28 (2012) 1053–1058 (IF 2011= 0.738) ISSN 1005-0302
4. A.Fadel, D.Glišić, **N.Radović**, D.Drobnjak, Intragranular Ferrite Morphologies In Medium Carbon Vanadium-Microalloyed Steel, *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, in press (2013) DOI:10.2298/JMMB120820001F (IF2011=1.317) ISSN 1450-5339
5. E.Hutli, M.Nedeljkovic, **N. Radovic**, Nano- and Micro-Scale Surface Modification of FCC Metal Using High Submerged Cavitating Water Jet, *Plasmonics*, 8 (2013) 843-849 (IF2011=2.989) ISSN 557-1955

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са

релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 10.06.2013.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Подобност теме и кандидата Игора Радисављевића, дипл. инж. металургије за израду докторске дисертације.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета одржаној 28.03.2013. године, одлуком број 35/105 од 02.04.2013 именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности кандидата Игора Радисављевића, дипл. инж. металургије и научне заснованости теме за израду докторске дисертације коју је под називом **„Утицај параметара заваривања на својства заварених спојева алуминијумских легура добијених поступком заваривања трењем алатом“** предложио Игор Радисављевић дипл. инж. металургије.

На основу прегледа и анализе материјала достављеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Биографски подаци

Игор Радисављевић, дипл.инж. металургије, рођен је 26.09.1974. године у Књажевцу. Основну и средњу школу завршио је у Београду. Дипломирао је на Технолошко-металуршком факултету у Београду на Одсеку за металургију и металне материјале 30.11.2005. године одбраном дипломског рада под насловом „Модификација површине одливака Al-Si легура млазом плазме“ са оценом на дипломском испиту 10 и просечном оценом у току студија 8,03.

Од 14. априла 2006. године ради у Одељењу за металне материјале, Сектора за материјале и заштиту Војнотехничког института, где се бави истраживањима у области металургије и инжењерства металних материјала, испитивањем металних компоненти средстава НВО која се налазе у развоју и експлоатацији, као и према захтевима цивилног сектора. Због остварених изузетних резултата, за веома кратко време у периоду од 2006. до 2010. године, напредовао је од звања истраживач-сарадник до вишег истраживача. Посебно се стручно и научно исказао у подручју заваривања и заварљивости челика и легура алуминијума, као и у развоју поступка заваривања трењем алатом – Friction Stir Welding (FSW). Такође је веома значајно његово ангажовање у подручју побољшања постојеће балистичке заштите борбених возила применом предклопа. Влада великим бројем метода које се користе при испитивању физичких, структурних, механичких и технолошких својстава металних материјала. За остварене резултате у области истраживања и развоја НВО похваљен је 2009. године од стране Директора ВТИ-а.

Докторске академске студије трећег степена на Технолошко-металуршком факултету у Београду уписао је школске 2008/2009. године. У оквиру изабраног студијског програма Металуршко инжењерство, положио је све предвиђене испите и одбранио завршни испит:

1. Кинетика фазних трансформација (оцена 10),

2. Структура и својства металних материјала (оцена 10),
3. Физичка металургија заваривања (оцена 10),
4. Математичка обрада експерименталних података (оцена 7),
5. Физика лома (оцена 10),
6. Физика чврстоће и пластичности – виши курс (оцена 10),
7. Металургија заваривања (оцена 10),
8. Технологија заваривања и лемљења (оцена 10),
9. Заварљивост и сигурност заварених спојева (оцена 10),
10. Деформационо проесирање метала и легура (оцена 10),
11. Термодинамика чврстог стања (оцена 10),
12. Отпорност материјала (оцена 10),
13. Завршни испит (оцена 10).

Током досадашњег истраживачког рада у Војнотехничком институту константно је ангажован на реализацији задатка „Истраживање у области металургије и инжењерства металних материјала за НВО“. Непосредно је одговоран за спровођење истраживачких активности везаних за подручје оклопне заштите и заваривање металних материјала. Као члан радног тима, учесник је и на другим истраживачко-развојним и функционалним задацима из надлежности ВТИ-а. Активно је у периоду 2008.-2010. год. учествовао на пројекту Министарства науке и технолошког развоја ТР 19050 „Освајање производње компоненти конструкција поступком заваривања трењем алатом“. У текућем пројектном циклусу (2011.-2014. год.) Министарства просвете, науке и технолошког развоја ангажован је на пројекту ТР 34018 – „Развој технологије производње и заваривања Al-Mg легуре високе чврстоће за примену у конструкцијама друмских и железничких транспортних средстава“. Од ове године ангажован је и на пројекту Универзитета одбране „Прилог развоју форензичког инжењеринга у домену анализе узрока и генезе отказа цилиндричних структура“ (2013.-2015. год.).

Кандидат је аутор и коаутор више научних и стручних радова из области металургије, инжењерства материјала, наоружања и војне опреме. Радови су саопштени и публиковани на научним скуповима и стручним часописима у земљи и иностранству. Укупно је до сада објавио 16 радова и то: 2 рада у часопису категорије М21, 1 рад у часопису категорије М22, 1 рад у часопису категорије М24, 1 рад у часопису категорије М51, 7 радова на скуповима од међународног значаја штампана у целини (6 радова категорије М33 и 1 рад категорије М31), 3 рада на домаћим конференцијама штампана у целини (категирија М63) и 1 рад штампан у изводу (категирија М64). Именовани је у оквиру пројекта ТР 19050 један од коаутора техничког решења „Технологија заваривања плоча дебљине 6,0 мм AlMg2,5 легуре поступком заваривања трењем алатом“ (категирија М84). Објавио је и 14 радова заведених у документацији ВТИ-а (1 елаборат, 1 техничка студија и 12 техничких извештаја).

Дана 27.09.2010 године одлуком Научног већа ВТИ-а изабран је у научно звање истраживач-сарадник за област-грану-дисциплину метални материјали.

Члан је Друштва за унапређење заваривања у Србији – ДУЗС.

На Војној академији је похађао и завршио 3-месечни интензивни курс енглеског језика нивоа ИИ и добио оцену одличан (9). Поседује сертификат СТАНАГ 6001 о знању енглеског језика нивоа: 2, 2, 2, 1+.

Кандидат је активни официр Војске Србије са службеном оценом одличан.

1.2. Списак објављених научних и стручних радова

1.2.1. Часописи категорије M20

Рад објављен у водећем међународном часопису, M21

1. **Радисављевић И.**, Балош С., Никачевић М., Шиђанин Л.: *Optimization of geometrical characteristics of perforated plates*, Materials and Design, 2013, Vol 49, pg. 81-89.
2. Крстић Б., Рашуо Б., Трифковић Д., **Радисављевић И.**, Рајић З., Динуловић М.: *Failure analysis of an aircraft engine cylinder head*, Engeneering Failure Analysis, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.03.004>

Рад објављен у истакнутом међународном часопису, M22

1. Балош С., Грабулов В., Шиђанин Л., Пантић М., **Радисављевић И.**: *Geometry, mechanical properties and mounting of perforated plates for ballistic application*. Materials and Design, 2010, Vol 31, No 6, pg. 2916-2924, ISSN 0261-3069.

Рад у часопису категорије M24

1. **Радисављевић И.**, Живковић А., Радовић Н.: *Avoidance of tunnel type defect in FSW welded Al 5052-H32 plates*. Заваривање и заварене конструкције, 2012, Vol 57, No 1, pg. 5-12, ISSN 0354-7965.

1.2.2. Часописи категорије M50

Рад објављен у водећем часопису националног значаја M51

1. **Радисављевић И.**, Аћимовић-Павловић З., Раић К.: *Модификација површине одливака легура алуминијума млазом плазме*, Journal of metallurgy, 2006, Vol 12, No 1, pg. 17-26, ISSN-0354-6306.

1.2.3 Научни скупови категорије M30

Саопштење са међународног скупа –предавање по позиву штампано у целини- M31

1. **Радисављевић И.**, Радовић Н., Живковић А.: *Influence of Process Parameters on Quality of FSW Welded Plates*, 4th International Conference: Processing and Structure of Materials, Palić, 27-29 May 2010, Proceedings, pg. 117-123, ISBN 978-86-87183-17-9.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини - M33

1. Мијајловић М., Живковић А., Милчић Д., **Радисављевић И.**: Утицај параметара FSW поступка заваривања на квалитет завареног споја алуминијумске легуре 5052, Саветовање са међународним учешћем ЗАВАРИВАЊЕ 2010, Србија, Тара, 2-4 Јун 2010, зборник резимеа радова, I тематска група, стр. 74, рад бр. 47.
2. Живковић А., Horia D., **Радисављевић И.**, Перовић М., Седмак А., Петровски Б.: *The effect of tool geometry on the quality of Al 2024 friction stir welded joint*, 4th International Conference Innovative Technologies for joining advanced materials TИМА 10, Romania, Timisoara, 10-11 June 2010, Proceedings on CD.
3. Живковић А., Мијајловић М., Horia D., Седмак А., **Радисављевић И.**, Милчић Д., Вељић Д.: *Influence of the welding tool's geometry on productivity of friction stir welding process*, 5th International Conference Innovative Technologies for joining

advanced materials TIMA 11, Romania, Timisoara, 16-17 June 2011, Proceedings on CD, session 2.

4. **Радисављевић И.**, Балош С., Никачевић М.: *Perforated steel plates for ballistic application: Correlation between mass efficiency and ballistic resistance*, 4th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2011, Serbia, Belgrade, 6-7 October 2011, Proceedings on CD, pg. 652-657, ISBN 978-86-81123-50-8.
5. **Радисављевић И.**, Балош С., Никачевић М.: *Influence of add-on armor configuration on mass efficiency and ballistic behavior*, 1st International Conference: Military Technologies and Systems MT&S 2011, Bulgaria, Sofia, 8-9 December 2011, Proceeding, pg. 301-306, ISBN 978-619-90024-1-4.
6. **Радисављевић И.**, Радовић Н., Грабулов В., Никачевић М.: *Influence of process parameters on tunnel type defect appearance and weld quality in FSW welded Al 2024 plates*, 5th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2012, Serbia, Belgrade, 18-19 September 2012, Proceedings on CD, pg. 625-630, ISBN 978-86-8123-58-4.

1.2.4. Научни скупови категорије М60

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини - М63

1. Грабулов В., Блацић И., Бурзић З., **Радисављевић И.**: *Заварљивост челика високе чврстоће*, II научно-стручни скуп о одбрамбеним технологијама ОТЕХ 2007, Србија, Београд, 3-5 Октобар 2007, зборник радова, свеска II, секција IX, стр.122-126, ISBN 978-86-81123-49-2.
2. **Радисављевић И.**, Балош С., Грабулов В.: *Предоклоп као додатни систем заштите борбених возила*, III научно-стручни скуп о одбрамбеним технологијама ОТЕХ 2009, Србија, Београд, 8-9 Октобар 2009, зборник радова на CD, секција X, стр. 1008-1013, ISBN 978-86-81123-40-9.
3. Живковић А., Радовић Н., Мијајловић М., **Радисављевић И.**: Утицај геометрије чела алата на квалитет завареног споја оствареног поступком FSW на легурама Al 5052-H3 и Al 2024-T3, Зборник радова са саветовања „ЗАВАРИВАЊЕ 2012“, Србија, Дивчибаре, 9-12 октобар 2012.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу - М64

Врачарић Д., Грабулов В., **Радисављевић И.**: *Одређивање удела врсте лома у челику применом падајућег тега*, XIII саветовања о међулабораторијским испитивањима материјала, Србија, Тара, 17-19 септембар 2007, зборник извода радова.

1.2.5. Техничка и развојна решења М80

Битно побољшан постојећи производ или технологија - М84

Радовић Н., **Радисављевић И.**, Живковић А., Танасковић Ј.: *Технологија заваривања плоча дебљине 6.0mm AlMg2.5 легуре поступком заваривања трењем алатом*, Пројекат Министарства науке ТР 19050, Освајање производње компоненти конструкција поступком заваривања трењем алатом, *Рецензенти*: Ромхањи Е, Седмак А., *Корисник*: ГОША – ФОМ, *Прихваћено од*: ГОША – ФОМ, 2010.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и постигнутих резултата током докторских студија као и у оквиру целокупног научно-истраживачког рада Игор Радисављевић је показао изузетан смисао и способност за бављење научно-истраживачким радом. То се пре свега огледа у потпуно самосталном и инвентивном осмишљавању и креирању истраживања као и реализацији истих, везаних како за тему докторске дисертације тако и много шире.

Резултати досадашњег рада кандидата огледају су у објављивању 3 рада у часописима међународног значаја, 1 рада у часопису националног значаја, 11 радова саопштених на скуповима међународног и националног значаја и једног техничког решења. Поред тога, кандидат је аутор или коаутор 14 радова заведених у интерној документацији ВТИ-а.

На основу презентованих података и досадашње сарадње са кандидатом, Комисија сматра да именовани испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање ће бити усмерено ка проучавању утицаја параметара заваривања FSW поступка на механичке, структурне, корозионе и технолошке особине завареног споја алуминијумских легура серије 5XXX (Al-Mg) и серије 2XXX (Al-Cu). На основу резултата испитивања заварених спојева, заварених при широком распону параметара заваривања, предложиће се оптимални параметри заваривања који за усвојени алат омогућавају добијање завареног споја високог квалитета.

Рад на истраживању обухватао би активности везане за освајање и овладавање новом технологијом заваривања – заваривање трењем мешањем помоћу алата FSW – Friction Stir Welding). Спроведене активности имале би за циљ боље познавање међуодноса унетих топлота, пластичне деформације и рекристализације (статичка и/или динамичка). Сматра се да ови међуодноси кључно утичу на финалне структуре у свим зонама завареног споја, а тиме и на експлоатациона својства. У експерименталном делу ће бити обухваћени параметри који неке од ових међузависности могу јасније да дефинишу и објасне.

Литература:

1. W.M. THOMAS, E.D. NICHOLAS, J.C. NEEDHAM, M.G. MURCH, P. TEMPLESMITH, C.J. DAWES, Friction Stir Butt Welding, Int. Patent App. PCT/GB92/02203 and GB Patent App. 9125978.8, Dec. 1991. U.S. Patent No. 5,460,317, Oct. 1995.
2. AWS D17.3/D17.3M:200X An American National Standard, Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Hardware, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126.
3. MOATAZ M. ATTALLAH, Microstructure property development in friction stir welds of aluminium-based alloys, PhD Thesis, University of Birmingham, 2007.
4. SATISH VASUDEVAN, An investigation of quasi-static behavior, high cycle fatigue and final fracture behavior of aluminum alloy 2024 and aluminum alloy 2219, PhD Thesis, University of Akron, 2007.
5. MISHRA R.S., MAHONEY M.W., Friction stir welding and processing, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 2007.
6. MISHRA R.S., MA Z.Y., Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering R, 2005, 50: 1-78.
7. VILAÇA P., THOMAS W., Friction stir welding technology. Adv Struct Mater, 2011, DOI: 10.1007/8611-2011-56,.
8. NANDAN R., DEBROY T., BHADESHIA H.K.D.H., Recent advances in friction stir welding – process, weldment structure and properties, Progress in Materials Science, 2008, 53: 980-1023.

9. SUTTON M.A, YANG B., REYNOLDS A.P, TAYLOR R., Microstructural studies of friction stir welds in 2024-T3 aluminum, *Materials Science and Engineering A*, 2002, 323: 160-166.
10. ZHANG Z., XIAO B.L., MA Z.Y., Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 2219Al-T6 joints, *Journal of Materials Science*, 2012, DOI 10.1007/s10853-012-6261-1.
11. ELANGO VAN K., BALASUBRAMANIAN V., Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, 200: 163–175.
12. ABD EL-HAFEZ H. Mechanical properties and welding power of friction stirred AA2024-T35 joints, *Journal of Materials Engineering Performance*, 2011, 20: 839-845.
13. LOCKWOOD W.D., TOMAZ B., REYNOLDS A.P., Mechanical response of friction stir welded AA 2024: experiment and modeling, *Materials Science and Engineering A*, 2002, 323: 348-353.
14. YANG B., YAN J., SUTTON M., REYNOLDS A.P., Banded microstructure in AA2024-T351 and AA2524-T351 aluminum friction stir weld - Part I. Metallurgical studies, *Materials Science and Engineering A*, 2004, 364: 55-65.
15. BIALLAS G., BRAUN R., DALLE DONNE C.D., STANIEK G., KAYSSER W. Mechanical properties and corrosion behavior of friction stir welded 2024-T3, *Proceedings of the 1st International Symposium on Friction Stir Welding*, Thousand Oaks, CA, June 1999, 14-16.
16. KUMAR K., KAILAS S., The role of friction stir welding tool on material flow and weld formation, *Materials Science and Engineering A*, 2008, 485: 367-374.
17. ARBEGAST W., A flow-partitioned deformation zone model for defect formation during friction stir welding, *Scripta Materialia*, 2008, 58: 372–376.
18. VILACA P., QUINTINO L., DOS SANTOS J.F., iSTIR - Analytical thermal model for friction stir welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 169: 452-465.
19. HEURTIER P., JONES M.J., DESRAYAUD C., DRIVER J.H., MONTHEILLET F., ALLEHAUX D., Mechanical and thermal modeling of friction stir welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 171: 348–357.
20. JATA K.V., SEMIATIN S.L., Continuous dynamic recrystallization during friction stir welding of high strength aluminum alloys, *Scripta materialia*, 2000, 43: 743-749.
21. JONES M.J., HEURTIER P., DESRAYAUD C., MONTHEILLET F., ALLEHAUX D., DRIVER J.H., Correlation between microstructure and microhardness in a friction stir welded 2024 aluminum alloy, *Scripta Materialia*, 2005, 52: 693-697.
22. ELANGO VAN K., BALASUBRAMANIAN V., BABU S., Developing an empirical relationship to predict tensile strength of friction stir welded AA2219 aluminum alloy, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2008, 17: 820–830.
23. SUTTON M.A., BANGCHENG YANG, REYNOLDS A.P., JUNHUI YAN., Banded microstructure in 2024-T351 and 2524-T351 aluminum friction stir welds Part II. Mechanical characterization, *Materials Science and Engineering A*, 2004, 364: 66–74.
24. BANGCHENG YANG, JUNHUI YAN, SUTTON M.A., REYNOLDS A.P., Banded microstructure in 2024-T351 and 2524-T351 aluminum friction stir welds Part I. Metallurgical studies, *Materials Science and Engineering A*, 2004, 364: 55–65.
25. MA Z.Y., *Friction Stir Processing Technology: A Review*, *Metallurgical and materials transactions A*, 2008, 39: 642-658.
26. SCHMIDT H., DICKERSON T., HATTEL J., Material flow in butt friction stir welds in AA2024-T3, *Acta Materialia*, 2006, 54: 1199-1209.

27. ARORA K., PANDEY S., SCHAPER M., KUMAR R., Effect of process parameters on friction stir welding of aluminum alloy 2219-T87, International Journal of Advanced Manufacture Technology, 2010, 50: 941–952.
28. ЖИВКОВИЋ А., Утицај геометрије алата за поступак заваривања трећем помоћу алата на својства завареног споја легуре Al 2024, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, 2011.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Главна одлика FSW процеса је да се спајање материјала одвија без топљења и без примене додатног материјала као и да омогућава спајање легура које су класичним поступцима тешко заварљиве. Количина унете топлоте генерисане током FSW процеса, уз интензивно течење омекшалог материјала у зони споја, доводи до формирања карактеристичне макро и микроструктуре завареног споја. Последишно, промене у структури утичу на промене механичких карактеристика и корозиону отпорност споја. У односу на класичне делове завареног споја који се добија коришћењем поступака који укључују топљење: основни метал (ОМ), метал шава (МШ) и зона утицаја топлоте (ЗУТ), у спојевима добијеним поступком заваривања трећем алатом, јављају се и зона термомеханичког утицаја (ЗТМУ) и зона грумена, уместо метала шава.

Геометријске карактеристике алата и њему одговарајући параметри заваривања, чијом је заједничком применом (односно њиховим упаривањем) омогућено добијање заварених спојева потребног квалитета, се чувају као индустријска тајна. Поред тога, алати и њихове геометријске карактеристике су заштићени одговарајућим патентним решењима.

Иако је из ове области последњих година објављен велики број радова, информације о карактеристикама алата и коришћеним параметрима заваривања углавном су веома штуре и без залажења у детаље или се чак и не објављују. Разлог за ово је важност и неопходност корелације геометријских карактеристика алата са одговарајућим параметрима заваривања да би се добио спој задовољавајућег квалитета. Параметри заваривања зависе од физичких и механичких особина материјала који се заварује, дебљине завариваних комада као и од материјала и геометрије „трна“ и „ваљка“ алата. Познавањем параметара заваривања и њиховом променом, мења се количина унете енергије и ниво загревања завариваних комада. На овај начин се применом правилно изабраних параметара заваривања постиже оптимално стање и течење материјала комада који се заварују, неопходно за правилно одвијање процеса спајања и добијање споја потребног квалитета.

Избором широког распона параметара заваривања, при чему ће се однос брзина ротације алата и транслације алата (V_{rot}/V_{zav}) кретати од 3,94 до 51,30, обезбедиће се различити нивои количине унете топлоте а самим тим омогућити сагледавање утицаја количине унете топлоте на карактеристике завареног споја и понашање материјала, како у самом споју тако и у полазном материјалу. На овај начин биће могуће пратити и упоређивати промене до којих долази у материјалу током заваривања при различитим параметрима као и утицај параметара заваривања на квалитет и ефикасност споја, тј. на механичке и структурне карактеристике и корозиону отпорност споја.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Испитивања заварених спојева ће се састојати од неструктивних (испитивања без разарања) и деструктивних метода (испитивања са разарањем). Испитивања без

разарања састојаће се од визуелног, радиографског, ултразвучног и испитивања пенетрантима а од испитивања са разарањем спровешће се механичка, структурна и корозиона испитивања. Сва испитивања биће спроведена у складу са важећим стандардима. Испитивањима са разарањем биће подвргнути само они спојеви код којих применом ИБР метода није уочено присуство грешака у споју.

Испитивања без разарања. Заварени спојеви ће након израде прво бити подвргнути визуелном прегледу у циљу откривања видљивих (површинских) грешака, у складу са стандардом SRPS EN-970. Испитивање пенетрантима ће се спровести у циљу откривања присуства микропорозности и непровара а биће спроведено према одредбама стандарда SRPS EN 571-1. Радиографска испитивања у циљу откривања унутрашњих (запреминских) грешака ће се обавити према одредбама стандарда SRPS EN 1435. Ултразвучна контрола спровешће се у циљу потврде и провере резултата радиографских испитивања, као и одређивања величине и позиције евентуално присутних грешака, тј. непровара или прскотина.

Испитивања са разарањем -За макроструктурну и микроструктурну анализу попречног пресека завареног споја и његових делова (ОМ, ЗУТ, ЗТМУ, грумен), из завареног споја ће се према стандардној шеми исећи одговарајући узорци. За анализу макроструктуре користиће се стерео металографски микроскоп са рачунарским системом за аквизицију слике. Такође, макро испитивањима попречног пресека заварених спојева, анализираће се и очекивано присуство линија течења материјала а преко њих карактер и смер тока материјала при одвијању процеса заваривања при различитим параметрима заваривања. За микроструктурну анализу користиће се светлосни металографски микроскоп Metalloplan са увећањима од 50 до 2000 пута и рачунарским системом за аквизицију података и софтвером за обраду слике. Затезне карактеристике завареног споја као целине и место прелома, одређиваће се према одредбама стандарда SRPS EN 10002-1. Ради могућности упоређивања механичких карактеристика, поред затезних карактеристика заварених спојева одредиће се и затезне карактеристике основног материјала. На основу односа вредности затезне чврстоће завареног споја и основног материјала ($R_{m\text{зав.спој}}/R_{m\text{ОМ}}$) одредиће се ефикасност завареног споја. Енергија удара одређиваће се у складу са одредбама стандарда SRPS EN 10045-1 и SRPS C.T3.051. Испитивања ће се спровести на собној температури, на инструментираним Шарпи клатну називне енергије 300 J које поседује интегрисани систем за аквизицију података. На тај начин, размотриће се како и у којој мери примењени режим заваривања, односно параметри заваривања, утичу на отпорност завареног споја изложеног ударним оптерећењима. Испитивање тврдоће обавиће се према одредбама стандарда SRPS C.A4.040 и SRPS C.T3.051, на узорцима за макроструктурну анализу. Тврдоћа се мери методом Vickersa HV1 и HV3, на дигиталном уређају за мерење микротврдоће HVS-1000 и стандардном уређају за мерење тврдоће Wolpert, респективно. Расподела тврдоће ће бити одређена мерењима кроз попречан пресек завареног споја у уздужном и вертикалном правцу. Тврдоћа кроз спој се мери у три зоне, тако да у свакој зони буду обухваћени ОМ, ЗУТ, ЗТМУ и грумен. Испитивање савојних карактеристика заварених спојева изводи се савијањем у три тачке, око лица и око корена споја, према одредбама стандарда SRPS C.T3.051 и SRPS C.T3.055. Испитивања на скенирајућем електронском микроскопу (SEM), који поседује и могућност хемијске анализе (EDS анализатор), спровешће се са циљем да се изврши анализа карактеристичних преломних површина испитиваних епрувета (затезних, савојних и жилавосних) и одреди место иницијације прскотине као и карактер и правац њеног простирања. Са друге стране, применом EDS анализатора, одредиће се хемијски састав места иницијације прскотине. У зависности од указаних

потреба, идентификација присуства, типа и величине евентуално образованих талоба спровешће се на трансмисионом електронском микроскопу ТЕМ-у. Корозиона испитивања спровешће се са циљем да се испита понашање спојева заварених FSW поступком у корозионој средини. У том смислу, размотриће се да ли, како и у коликој мери примењени параметри заваривања утичу на корозиону отпорност завареног споја као и који делови (области) споја су најосетљивији, односно најотпорнији на корозију. Поред тога, извршиће се упоредна анализа корозионе постојаности споја завареног FSW поступком и основног материјала. Корозиона испитивања ће се спровести према одредбама стандарда ASTM G 34-01 и ASTM G 110-03.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Очекивани научни допринос ове дисертације су:

- Одређивање утицаја параметара заваривања на макроструктуру завареног споја – величине карактеристичних зона
- Одређивање утицаја параметара заваривања на микроструктуру завареног споја – промена величине зрна у карактеристичним зонама.
- Одређивање утицаја параметара заваривања на морфологију честица секундарних фаза у карактеристичним зонама
- корелација утицаја процесних параметара на корозиону постојаност оних заварених спојева чије су механичка својства задовољила прописане вредности, према стандардним испитивањима
- став о месту и механизму настанка прскотине и раста прскотине који изазива лом завареног споја
- боље познавање кретања материјала у току заваривања трењем мешањем

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

У докторској дисертацији биће обрађена следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати, Дискусија, Закључак, Литература.*

У поглављу *Увод* биће приказани кратак осврт на подручје испитивања, дефинисани главни циљеви дисертације и предмет истраживања.

Поглавље *Теоријски део* обухватаће анализу досадашњих истраживања која се односе на:

- историјат и развој FSW процеса,
- генерисање топлоте трењем,
- основне принципе и карактеристике процеса,
- алат и опрему за заваривање,
- заварљивост материјала применом FSW процеса,
- карактеристике споја алуминијумских легура.

Поглавље *Експериментални део* односиће се на опис материјала, опреме, алата, ток експеримента, параметре процеса, методе и редослед испитивања:

- карактеристике коришћених материјала и опреме,
- карактеристике алата за заваривање,
- поступак и параметри заваривања,
- методе испитивања заварених спојева.

У поглављу *Резултати* биће приказани оригинални резултати добијени у оквиру ове дисертације. Поглавље ће бити систематизовано у складу са поглављем Експериментални део и приказати резултате карактеризације заварених спојева – испитивања без разарања, испитивања макро и микроструктуре, механичких својстава (чврстоћа, пластичност, тврдоћа, микротврдоћа) и корозионог понашања.

У поглављу *Дискусија* биће дискутовани добијени резултати испитивања структурних, механичких и корозионих карактеристика са аспекта утицаја параметара заваривања на количину генерисане топлоте и деформационог течења материјала и њихова корелација са полазним параметрима заваривања.

У *Закључку* ће бити сумирани добијени резултати.

У поглављу *Литература* биће наведене цитиране референце, укључујући и публикације проистекле из истраживања спроведених у оквиру ове дисертације.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледаног материјала и изнетих података, комисија сматра да су предмет и циљеви докторске дисертације **утицај параметара заваривања на својства заварених спојева алуминијумских легура добијених поступком заваривања трењем алатом** јасно дефинисани и имају научну заснованост. Истраживања која ће бити спроведена у оквиру ове дисертације припадају научној области Металургија за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да наведену тему прихвати и одобри израду ове докторске дисертације. Комисија за ментора именује др Ненада Радовића, ванредног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

У Београду
20.05.2013

КОМИСИЈА

Др Ненад Радовић, ван. проф., ментор
Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду

Др Зорица Цвијовић, ред. проф.
Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду

Др Ендре Ромхањи, ред. проф.
Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду

Др Венцислав Грабулов, научни саветник,
Институт ИМС, Београд

Др Александар Живковић, научни сарадник
ГОША ФОМ