

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Андријане Ђурђевић

Одлуком 1133/3 бр. од 11.09.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Андријане Ђурђевић под насловом

“Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума”

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња, Андријана Ђурђевић, дипл. инж. маш., је на Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписана школске 2011/2012. године. После положених испита и стечених других услова, поднела је захтев бр. 1169/1 од 03.06.2015. године, за одобравање израде докторске дисертације под насловом “Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума”.

Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду формирало је Комисију у саставу проф. др Александар Седмак (Универзитет у Београду, Машински факултет), научни сарадник др Срђан Тадић (Иновациони центар Машинског факултета Универзитета у Београду), проф. др Бојан Бабић (Универзитет у Београду, Машински факултет), проф. др Оливера Поповић (Универзитет у Београду, Машински факултет) и проф. др Марко Ракин (Универзитет у Београду Технолошко-металуршки факултет), са задатком да оцени подобност теме и кандидата за израду Докторске дисертације. Комисија је поднела позитиван Извештај бр. 1133/1, 10.06.2015. године. Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је Одлуком бр. 1133/2 од 11.06.2013. године прихватило предлог Комисије о испуњености услова и о научној заснованости теме Докторске дисертације “Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума”. Веће научних области техничких наука, Универзитета у Београду својом одлуком бр. 61206-2940/2-15 од 6.7.2015. дало је сагласност на предлог теме Докторске дисертације, а за ментора именовало проф. др Александра Седмака.

Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду, одлуком бр. 1133/3 од 11.09.2015. именовало је Комисију за преглед, оцену и одбрану Дисертације са задатком да поднесе Извештај о урађеној Дисертацији кандидаткиње Андријане Ђурђевић, под насловом “Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума”.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом “Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума” припада области техничких наука (машинство), ужа научна област Заваривање и заварене конструкције, које припадају Машинском факултету Универзитета у Београду.

Ментор, проф. др Александар Седмак, аутор је преко 80 научних радова објављених у часописима са SCI листе.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Андријана Ђурђевић је рођена 23.07.1985. године у Београду. По завршеној основној школи уписала је средњу техничку школу на Новом Београду „Политехника-школа за нове технологије“ на смеру Техничар за роботiku и флексибилне производне системе, где је матурирала 2004. године. За изузетан успех у школовању награђена је Вуковом дипломом у основној школи. Машински факултет Универзитета у Београду уписала је 2004. године, а дипломирала је 2009. године на групи за Производно машинство са средњом оценом 9,08. За остварени изванредан успех на студијама била је награђивана од стране Машинског факултета као једна од најбољих студената генерације шк. год. 2005/2006., 2007/2008. и 2008/2009.

Дипломски рад, на тему „Пројектовање технолошких процеса и технолошке ћелије за израду фамилије точкова и ролни на принципу групне технологије“, кандидаткиња је одбранила на Машинском факултету у Београду, оценом 10. Рад је оформљен током једномесечне прксе у предузећу „РБ Колубара“ у Србији.

Докторске студије уписала је на Машинском факултету у Београду, 2011. године. У предвиђеном року (три године) положио је све испите на Докторским студијама са просечном оценом 9,86. Кандидаткињи је одлуком Декана, а на основу сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, одобрен рад на Докторској дисертацији са радним насловом “Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума”.

Кандидаткиња је током Докторских студија учествовала на иновационом пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије, под називом „Освајање технологије израде Т-спојева поступцима фриксионог заваривањем мешањем“, број пројекта 451-03-2802/2013-16/69.

Тренутно, кандидаткиња је учесница на пројекту основног истраживања Министарства просвете, науке и технолошког развоја Владе Републике Србије, 174004 „Микромеханички критеријуми оштећења и лома“. Руководилац пројекта је проф. др Марко Ракин (Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду). Кандидаткиња је учесница пројекта од 01.01.2012. године.

Од 2012. године кандидаткиња је активни члан Друштва за интегритет и век конструкција “Проф. др Стојан Седмак”.

Кандидаткиња је запослена је у Иновационом центру Машинског факултета у Београду од 1.1.2012. године, тренутно има звање: истраживач-сарадник. Држала је вежбе из предмета Техничка механика, Отпорност материјала Б и Машински елементи на Високој инжењерској школи струковних студија „Техникум Таурунум“ у Земуну.

Говори и пише на енглеском језику, а служи се и немачким језиком.

Служи се програмима из пакета MS Office, Solid Works, AutoCAD, Inventor 3D CAD, AnyLogic, Abaqus.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Андријане Ђурђевић, под насловом “Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума” приказан је на 141 страни. Дисертацију чине 8 главних и 5 прегледних поглавља:

- Резиме
- Номенклатура
- 1. Увод
- 2. Заваривање трењем са мешањем
- 3. Т-спојеви
- 4. Експериментални рад
- 5. Резултати и дискусија експерименталног рада
- 6. Нумерички модел процеса заваривања трењем са мешањем
- 7. Резултати и дискусија нумеричком методом добијених резултата
- 8. Закључак
- Литература
- Прилози
- Биографија аутора

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Резиме подразумева осврт на тему дисертације, шта је рађено током експерименталног и нумеричког истраживања, какво је експериментално истраживање спроведено, добијени резултати испитивања укратко описани и објашњен значај поступка зацваривања трењем са мешањем.

Номенклатура даје преглед коришћених величина са стручним називима у дисертацији.

Прво главно, односно уводно поглавље даје кратак историјски осврт, објашњење основних појмова процеса заваривања трењем са мешањем., као и примену поступка у разним гранама индустрије. Указује и на важност примене нумеричких метода за истраживање и развој процеса.

У оквиру поглавља „Заваривање трењем са мешањем“ објашњена је уопштено апаратура за заваривање (алати, машине, стезни помоћни прибори), материјали заварљиви датим поступком, врсте спојева и фазе поступка. Пажљиво су описани параметри процеса, структура завареног споја као и начин генерисања топлоте неопходне за одвијање процеса. Дат је преглед могућих типова грешака у завареним спојевима овим поступком, као и могућа механичка испитивања спојева. Предности и недостаци поступка посебно су наглашени.

Треће поглавље „Т-спојеви“ говори о примени и начину добијања Т-спојева од легуре алуминијума.

У поглављу „Експериментални рад“ детаљно описане су активности експерименталног истраживања заваривања трењем са мешањем Т-спојева од изабраних алуминијумских легура и испитивање заварених спојева. Рад на експерименталном делу истраживања обухватао је активности везане за овладавање технологијом заваривања трењем са мешањем, добијања квалитетног завареног споја без грешака и његову карактеризацију. Спроведене активности имале су за циљ упознавање са карактеристикама и феноменима процеса, избор оптималних параметара заваривања и анализу варираних процесних параметара на карактеристике завареног Т-споја. Експериментално заваривање је подељено у две фазе да би се боље сагледао утицај параметара заваривања и одабир материјала стезног помоћног прибора. Детаљно је описана опрема за заваривање, конструкције и материјали алата и стезног помоћног прибора за заваривање у овом експерименту, физичке и хемијске особине материјала радних плоча и њихове димензије. Недеструктивним методама (испитивање без разарања) и деструктивним методама (испитивање са разарањем) изведена су испитивања заварених спојева.

Резултати и дискусија експерименталног рада дати су у петом поглављу. Испитивања микротврдоће заварених спојева урађено је на спојевима код којих при визуелном испитивању нису уочене грешке. Уочене су грешке и код недеструктивних и код деструктивних метода, разматран је начин настајања и могућност избегавања истих. У оквиру металографских испитивања урађена је макроструктурна анализа заварених спојева и њихових области.

Нумерички модел процеса заваривања трењем са мешањем је анализиран у шестом поглављу. Нумеричка симулација заваривања трењем са мешањем три плоче у циљу добијања Т споја и израда термо-механичког 3D модела Т споја је урађена. Такође, урађена је и нумеричка симулација процеса ЗТМ две плоче од легуре алуминијума у циљу добијања сучеоног споја и овладавања нумеричком методом. Дефинисан је математички 3D модел споја, генерисана мрежа коначних елемената, израз за регулисање процеса, места и начини генерисања топлоте, почетни и гранични услови.

У поглављу „Резултати и дискусија нумеричком методом добијених резултата“ дискутовано је највише о максималној температури која се јавља током процеса, распореду температурних поља кроз Т-спој, као и сучеоног споја. Такође, урађено је поређење експериментално и нумеричким методама добијених резултата. То је урађено анализирањем утицаја улазних параметара процеса заваривања трењем са мешањем на квалитет сучеоног споја од алуминијумске легуре експерименталним и нумеричким методама у циљу верификације добијених резултата наведеним методама.

У осмом поглављу „Закључак“ дати су изведени закључци дисертације и препоруке за даља истраживања поступка заваривања трењем са мешањем.

Литература садржи 115 референци, у прилозима су приказане изјаве о ауторству, о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и о коришћењу и на крају рада је дата биографија кандидаткиње.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Заваривање трењем са мешањем је релативно нов поступак заваривања који је нашао примену у многим гранама индустрије, међутим још увек се не користи у Србији. Применом овог поступка добијају се заварени спојеви са захтеваним нивоима чврстоће и пластичности,

и избегнути су проблеми који се јављају код конвенционалних поступака заваривања. Изузетне су карактеристике поступка: рад је једноставан и лако може да се аутоматизује, енергетски је убедљиво најефикаснији, еколошки је апсолутно чист и заварени спојеви имају врло висок квалитет. је и нумеричка симулација заваривања трењем са мешањем три плоче у циљу добијања Т споја и израда термо-механичког 3D модела Т споја. Оригиналноост се огледа у разради математичког модела Т-споја и одговарајућих граничних услова и начину генерисања топлоте неопходне за одвијање процеса.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Коришћена је доступна референтна литература, међу којом су и најновији радови из међународних научних часописа који се баве експерименталним и нумеричким истраживањем заваривања трењем са мешањем. Коректно су цитирани остварени резултати истраживања других аутора. Највише су коришћени резултати везани за технологију заваривању Т-спојева, механичка испитивања заварених спојева и нумеричку симулацију процеса заваривања овим поступком.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене су експерименталне и нумеричке научне методе у оквиру израде ове дисертације. Експерименталне научне методе су спроведене у складу са одговарајућим стандардима. Израђени су физички модели Т-спојева. Експериментално испитивање заварених спојева урађено је у акредитованим лабораторијама, под надзором одговорних и стручних лица и под одговарајућим условима. Коришћена је савремена мерна опрема. Нумеричко истраживање поступка заваривања трењем са мешањем подразумевало је примену методе коначних елемената. Моделован је термо-механички процес заваривања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Реализацијом циљева ове Докторске дисертације кроз примену поменутих научних метода, остварени су резултати који имају значај при увођењу ове технологије заваривања у Србији. Изабраним параметрима заваривања и опремом добијен је спој од плоча дебљине 5mm алуминијумске легуре 5754-H111, без грешака. Урађена је верификација испитиваних резултата дубијених експерименталним и нумеричким методама, што је јако важно за развој овог поступка заваривања. Радом на овој дисертацији утврђено је да је могуће применити овај поступак заваривања уз минималне модификације постојећих машина, односно алатних глодалица.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је потпуно способна за самостални научни рад везан за заваривање трењем са мешањем јер је активно учествовала при експерименталном заваривању и испитивању, као и нумеричку симулацију процеса. Кандидаткиња оспособљена за писање стручних радова из ове области.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији остварени су следећи научни доприноси:

- Освојена је технологија заваривања, односно утврђени су оптимални параметри и произведен је Т-спој без грешака одговарајућих димензија.
- Разрађен је и верификован нумерички модел симулације поступка заваривања трећем са мешањем, базиран на методи коначних елемената
- Утврђена је релација између унете количине топлоте и грешака које се јављају у завареном споју.

Напомињемо да је у Србији први пут урађено спајање радних плоча од легуре алуминијума у Т-спој поступком заваривања трећем са мешањем. Урађена модификација постојећих алатних глодалица и конструисан је одговарајући стезни помоћни прибор. Резултати добијени истраживањем у овој дисертацији поред практичних, имају и шири научни значај јер прегледом литературе је установљено да је јако мали број радова о производњи и испитивању Т-споја датим поступком експерименталним, а још мање нумеричким методама. Добијени резултати у овом раду могу допринети развоју процеса и производњи спојева без грешака. Нумеричком симулацијом процеса заваривања и испитивањем Т-спојева могуће је доћи до квалитетних спојева очекиваних механичких особина. Нумеричким испитивањем овог процеса смањени су трошкови који су присутни при експерименталном истраживању.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Дато је таксативно објашњење у ком смислу научни доприноси наведени у тачки 4.1 представљају унапређење научних знања у поређењу са постојећим стањем.

- У досадашњим експерименталним истраживањима у Србији произведени су и испитивани само сучеони спојеви од легуре алуминијума поступком заваривања трећем са мешањем. Експерименталним истраживањем у оквиру ове дисертације први пут је рађено спајање радних плоча од легуре алуминијума у Т-спој. Такође је урађено и испитивање произведених Т-спојева у акредитованим лабораторијама.
- До сада доступни референтни резултати у литератури, у области заваривања трећем са мешањем добијени приликом истраживања заваривања овом методом говоре о покушајима да се произведу Т-спојеви без грешака. Практични научни допринос експерименталног заваривања и испитивања у овом раду се огледа у томе што је освојена је технологија, односно утврђени су оптимални параметри заваривања и произведен је Т-спој без грешака одговарајућих димензија. Дакле, добијени резултати у овом раду могу допринети развоју процеса и производњи спојева без грешака.
- Један од недостатака поступка заваривања трећем са мешањем је тај што је специјализована машина за заваривање доста скупа. У коришћеној литератури примећено је да поред специјализованих машина, заваривање трећем са мешањем се може извести и на алатним глодалицама. Дакле, да би се избегли велики трошкови урађена минимална модификација постојеће алатне глодалице и успешно су заварени Т-спојеви. Конструисан је и нов специјални стезни помоћни прибор.
- Нумеричком симулацијом процеса заваривања Т-спојева потврђено је да је могуће нумеричком методом остварити Т-спој, уз праћење температуре кроз спој. Прегледом литературе је установљено да се јако мали број истраживача бави истраживањем остваривања и испитивања Т-споја датим поступком нумеричким методама. Добијени нумерички резултати у овом раду могу допринети развоју процеса зато што су верификовани резултати добијени нумеричким и експерименталним истраживањем.

Нумеричким истраживањем овог процеса смањени су трошкови који су присутни при експерименталном истраживању.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M21:

1. **Đurđević, A.**, Živojinović, D., Grbović, A., Sedmak, A., Rakin, M., Dascau, H., Kirin, S.: Numerical simulation of fatigue crack propagation in friction stir welded joint made of Al 2024-T351, *Engineering Failure Analysis*, 2015. (IF=1.13) (DOI:10.1016/j.engfailanal.2015.08.028) (ISSN:1350-6307)

Категорија M22:

1. **Djurđjevic, A.**, Tadic, S., Kumap, R., Chattopadhyaya S., Hloch, S. , Sedmak, A. , Donceva, E.: Heat Input Effect of Friction Stir Welding on Aluminium Alloy AA 6061-T6 Welded Joint, accepted for publication in the journal *Thermal Science*, 2015. (IF=1.18) (ISSN 0354-9836)
2. Mladenović, S., Šijački-Žeravčić, V., Bakić, G., Lozanović-Šaljić, J., Rakin, M., **Đurđević, A.**, Đukić, M.: Numerical Analysis of Thermal Stresses in Welded Joints Made of Steels X20 and X22, *Thermal science*, vol.17, suppl.1, pp. S121-126, 2013. (IF=0,96) (DOI:10.2298/TSCI131211178M)

Категорија M24:

1. Živkovic, A., **Djurđjevic, A.**, Sedmak, A., Tadic, S., Jovanovic, I.: Defectless T joints made by FSW of Al2024 T351, accepted for publication in the journal *Structural Integrity and Life* 15, no.3, 2015.

Категорија M33:

1. Živojinović, D., **Đurđević, A.**, Grbović, A., Sedmak, A., Rakin, M., Numerical modelling of crack propagation in friction stir welded joint made of aluminium alloy, *20th European Conference on Fracture (ECF20), Procedia Material Science*, vol.3, pp. 1330-1335, Trondheim, Norway, 2014. (ISSN: 2211-8128)
2. Živković, A., **Đurđević, A.**, Sedmak, A., Dascau, H., Radisavljević, I., Đurđević, Đ.: Friction Stir Welding of T-joints, *The 3rd IIW South – East European Welding Congress*, Timisoara, Romania, 2015.
3. **Đurđević, A.**, Tadić, S., Sedmak, A.: Friction stir welding of T joint – Numerical research, accepted for publication in *7th Internacional Scientific and Expert Conference TEAM 2015*, Belgrade, 2015.
4. **Đurđević, A.**, Sedmak, A., Živković, A., Đurđević, Đ.: Macrostructures, defects and microhardness of friction stir welded T joints of AA 5052 and AA 5754-H111, accepted for publication in *7th Internacional Scientific and Expert Conference TEAM 2015*, Belgrade, 2015.

Категорија M63:

1. **Đurđević, A.**, Sedmak, A., Živković, A., Radisavljević, I.:“Eksperimentalno istraživanje zavarivanja trenjem sa mešanjem za dobijanje T-spojeva od legure aluminijuma”, *39. JUPITER Konferencija*, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija, 2014., pp. 166-169 (ISBN 978-86-7083-840-6)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом Докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану Докторске дисертације под називом „Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума“, кандидаткиње Андријане Ђурђевић, дипл. инж. маш., Комисија констатује да је урађена Докторска дисертација написана према важећим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду.

Комисија за оцену и одбрану Докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу да се Докторска дисертација под називом „Технологија заваривања трењем са мешањем Т-спојева од легуре алуминијума“ кандидаткиње Андријане Ђурђевић, дипл. инж. маш., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Александар Седмак,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Срђан Тадић,
Научни сарадник, Иновациони центар Машинског факултета
Универзитета у Београду

.....
Проф. др Бојан Бабић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Проф. др Оливера Поповић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Проф. др Марко Ракин,
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет