

Број захтева: _____

Датум: _____

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. став 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

Уроша (Слободан) Стаменковића

КАНДИДАТ: **Урош (Слободан) Стаменковић**

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ИСТРАЖИВАЊЕ ЕФЕКТА ОЈАЧАВАЊА СТАРЕЊЕМ ТОКОМ ТЕРМОМЕХАНИЧКЕ ОБРАДЕ АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА

Из научне области: **Металуршко инжењерство**

Универзитет је дана **28.05.2018.** године својим актом под бројем **61206-2015/2-18** дао сагласност на предлог теме дисертације која гласи: **ИСТРАЖИВАЊЕ ЕФЕКТА ОЈАЧАВАЊА СТАРЕЊЕМ ТОКОМ ТЕРМОМЕХАНИЧКЕ ОБРАДЕ АЛУМИНИЈУМСКИХ ЛЕГУРА**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **Уроша (Слободан) Стаменковића** образована је на седници одржаној **17.12.2019.** године, одлуком факултета под бр. **VI/4-3-12.1.**, у саставу:

Име и презиме члана комисије / звање / научна област / установа у којој је запослен

1. др Светлана Иванов, ред. професор, прерађивачка металургија и метални материјали, Технички факултет у Бору, ментор
2. др Ивана Марковић, ван. професор, прерађивачка металургија и метални материјали, Технички факултет у Бору, члан
3. др Владан Ћосовић, научни саветник, Наука о материјалима – инжењерство материјала, ИХТМ у Београду, члан

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **13.02.2020.** године, под бројем: **VI/4-5-7.**

Декан Факултета

Проф. др Нада Штрбац

Прилог:

1. Извештај комисије са предлогом
2. Акт наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-5-7
Бор, 14. 02. 2020. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 13. 02. 2020. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **Уроша Стаменковића**, мастер инж. металургије, студента докторских академских студија студијског програма Металуршко инжењерство, под називом: „Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде алуминијумских легура“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана **28. 05. 2018. године** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

III Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:

Рад у међународном часопису – категорија M23

1. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, Lj. Balanović, M. Gorgievski, The effect of precipitation of metastable phases on the thermophysical and mechanical properties of the EN AW-6082 alloy, *Revista de Metalurgia*, 55(4)(2019) e156, doi: 10.3989/revmetalm.156 (ISSN-L: 0034-8570; IF(2018)=0.540, Metallurgy & Metallurgical Engineering 64/76, M23).
2. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, The influence of isochronal aging on the mechanical and thermophysical properties of the EN AW-6060 aluminum alloy, *Bulgarian Chemical Communications*, 51(3)(2019) 372-377, doi: 10.34049/bcc.51.3.50182019 (ISSN: 0324-1130; IF(2017)=0.242, Chemistry, Multidisciplinary 167/171, M23).

IV Именовани ће бранити докторску дисертацију пред Комисијом у саставу:

1. др Светлана Иванов, редовни професор Техничког факултета у Бору;
2. др Ивана Марковић, ванредни професор Техничког факултета у Бору;
3. др Владан Ћосовић, научни саветник, ИХТМ Београд.

V Одлуку доставити надлежном Већу научних области Универзитета у Београду, ради давања сагласности. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности именованог Већа Универзитета.

VI О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Доставити:

- именованом
- Већу научних области Универзитета у Београду
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Нада Штрбац

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Технички факултет у Бору

НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији кандидата Уроша Стаменковића, мастер инж. металургије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду број VI/4-3-12.1 од 18.12.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Уроша Стаменковића, мастер инж. металургије под називом:

**„Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде
алуминијумских легура“.**

Након прегледа достављене докторске дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Урош Стаменковић, мастер инж. металургије уписао је 2014/2015. године докторске академске студије на Техничком факултету у Бору, на студијском програму Металуршко инжењерство.

Хронологија одобравања и израде докторске дисертације одвијала се следећом динамиком:

- Катедри за прерађивачку металургију Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду дана 07.03.2018. године кандидат Урош Стаменковић, мастер инж. металургије поднео је пријаву предлога теме докторске дисертације. Потом је

Катедра за прерађивачку металургију Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду Наставно-научном већу предложила Комисију за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације Уроша Стаменковића у саставу: проф. др Светлана Иванов, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду; проф. др Драгослав Гусковић, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду; проф. др Десимир Марковић, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду; доц. др Ивана Марковић, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду и др Александра Ивановић, научни сарадник Института за рударство и металургију у Бору. За ментора је предложена проф. др Светлана Иванов, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду.

- Наставно-научно веће Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду донело је одлуку број VI/4-13-5 дана 20.03.2018. године о именовању Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата Уроша Стаменковића, мастер инж. металургије.
- Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, број VI/4-14-4.1 од 20.04.2018. године прихваћен је извештај Комисије о о научној заснованости теме за израду докторске дисертације под називом: „Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде алуминијумских легура“, при чему је за ментора именована проф. др Светлана Иванов, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду.
- Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду одлуком број 61206-2015/2-18 од 28.05.2018. године, дало је сагласност на предлог теме за израду докторске дисертације кандидата Уроша Стаменковића под називом: „Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде алуминијумских легура“.
- Наставно–научно веће Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду одлуком број VI/4-3-12.1. од 18.12.2019. године именovalo је Комисију за оцену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата Уроша Стаменковића, мастер инж. металургије, у саставу: проф. др Светлана Иванов, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду (ментор); проф. др Ивана Марковић, Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду (члан); др Владан Ћосовић, научни саветник, Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију Београд (члан).

1.2. Научна област дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације под називом „Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде алуминијумских легура“ припада научној области Металуршко инжењерство, ужој научној области Прерађивачка металургија и метални материјали за коју је Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду акредитован на свим нивоима студија. Ментор ове докторске дисертације, проф. др Светлана Иванов, редовни професор на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, на основу досад објављених радова и на основу наставног и истраживачког искуства компетентна је да руководи израдом докторске дисертације кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Урош Стаменковић је рођен 09.01.1989. године у Бору, где је завршио основну и средњу школу са одличним успехом. Основне академске студије на Техничком факултету у Бору уписао је 2008. године. Студије је завршио 2012. године на студијском програму Металуршко инжењерство, модул: Прерада племенитих метала и златарство, са просечном оценом у току студија 9,06 (девет и 6/100) и оценом 10 (десет) на завршном раду. Школске 2012/2013., уписао је мастер академске студије на Техничком факултету у Бору на студијском програму Металуршко инжењерство, а исте завршио 2014. године са просечном оценом 9,75 (девет и 75/100). Докторске академске студије уписао је 2014. године на Техничком факултету у Бору, на студијском програму Металуршко инжењерство.

Запослен је од септембра 2013. године на Техничком факултету у Бору, прво као сарадник у настави за ужу научну област Прерађивачка металургија и метални материјали, да би септембра 2014. године био изабран за универзитетског сарадника у звању асистента. Као асистент Урош Стаменковић је задужен за извођење рачунских и експерименталних вежби из следећих предмета: Испитивање метала 1, Термичка обрада, Теорија ливарства, Теорија прераде метала у пластичном стању, где је високо оцењен од стране студената.

Аутор је или коаутор већег броја радова објављених у часописима међународног и националног значаја (7 радова публикованих у међународним часописима категорије М20 са JCR листе, 6 радова публикованих у домаћим часописима), као и око 50 саопштења на међународним и домаћим скуповима.

Учествовао је у реализацији 1 домаћег пројекта и 1 међународног пројекта. Био је члан организационих одбора 4 међународна и 2 домаћа скупа. Члан је Српског хемијског друштва.

Урош Стаменковић активно је учествовао у промоцији науке међу младима, држањем практичне наставе и семинара ученицима средњих школа, као и учествовањем у организацији манифестација за образовање деце на територији Републике Србије, као што су Борска ноћ истраживача – „Бонис“ и „Тимочки научни торнадо - ТНТ“.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Уроша Стаменковића под називом „Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде алуминијумских легура“ написана је на 112 страна, у оквиру којих се налази једанаест повезаних поглавља (Увод, Алуминијум и алуминијумске легуре, Преципитационо ојачавање (старење) алуминијумских легура, Преглед истраживања, Циљеви истраживања, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература, Биографија и Објављени радови проистекли из докторске дисертације) са пратећим елементима дисертације (Обрасци 5, 6 и 7 из Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору). Дисертација је илустрована са 102 слике, 19 табела и 96 литературних цитата.

На почетку дисертације су дати подаци о ментору и члановима Комисије, изводи на српском и енглеском језику, а на крају дисертације прилози. По својој форми, садржају и добијеним резултатима ова докторска дисертација задовољава све критеријуме и стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *првом поглављу (Увод)* дат је кратак осврт на велику потражњу у индустрији у последњим деценијама за материјалима који по одређеним особинама могу заменити материјале из области црне металургије, с обзиром на то да њихова производња изискује велику потрошњу енергије и доводи до загађивања животне средине, као и на улогу алуминијума и његових легура у овом домену.

У *другом поглављу (Алуминијум и алуминијумске легуре)* изнете су основне напомене о алуминијуму и легурама на његовој основи, уз осврт на применљивост ових легура у индустрији, као и опис утицаја поступака прераде на структуру и карактеристике алуминијума и његових легура.

У *трећем поглављу (Преципитационо ојачавање (старење) алуминијумских легура)* описане су основне теоријске поставке и услови за појаву преципитационог или таложног ојачавања (ојачавања старењем) као једне од најчешће коришћених метода за побољшање особина код алуминијумских легура, па и код Al-Mg-Si легура.

У *четвртном поглављу (Преглед истраживања)* представљени су постојећи публиковани резултати о карактеризацији легура система Al-Mg-Si. У овом поглављу је дат преглед и анализа досадашњих истраживања. Најпре су анализирани резултати истраживања преципитационог низа који се јавља у легурама из серије 6000. Сагледана су најновија истраживања у области електронске микроскопије у циљу карактеризације добијених преципитата. Након тога пажња је посвећена прегледу истраживања у области растворног жарења, где је конкретно сагледаван утицај температуре. Поред тога, као други корак при термичкој обради старењем, анализирана су истраживања утицаја различитих параметара каљења. Велики број аутора је проучавао параметре вештачког старења, али са акцентом на изотермално старење. Пажња истраживачких група углавном је била усмерена на карактеризацији легура из серије 6000 након спроведеног поступка изотермалног старења. Само мали број аутора је посветио пажњу изохроном старењу, што је био један од главних циљева ове докторске дисертације. Последњих година велика пажња посвећена је побољшању топлотних особина, поред механичких и физичких, коришћењем различитих метода термичке или термомеханичке обраде, па је преглед истраживања био усмерен и ка анализи тих резултата. С обзиром на то да термомеханичка обрада показује велики утицај на механичке, физичке и структурне особине, у последњем делу прегледа истраживања акценат је стављен на сагледавање ових истраживања. Већина аутора се фокусира на уношење деформације веома високог степена и на ојачавање материјала уситњавањем зрна. На основу прегледа доступне литературе може се закључити да су алуминијумске легуре из серије 6000 истраживане од стране научне заједнице, са акцентом на механичке и структурне особине. Међутим, не постоји довољан број података о изохроном старењу и утицају истог на особине испитиваних легура. Такође, већина аутора се држала устаљених метода при термомеханичкој обради која укључује уношење деформације након каљења, а пре

вештачког старења. Због наведених разлога су као предмет истраживања ове докторске дисертације и изабране процедуре које још нису или су слабије истраживане од стране научне заједнице, са акцентом на испитивање особина које савремене индустрије изискују од модерних материјала.

У петом поглављу (*Циљеви истраживања*) су дати циљеви истраживања.

У Експерименталном делу, датом у шестом поглављу, детаљно је приказано:

- добијање полазних узорака легура EN AW-6060 и EN AW-6082, сечење истих на адекватне димензије и одређивање тачног хемијског састава;
- жарење узорака ради уклањања фабричке структуре, затим растворно жарење и каљење ради добијања пресићеног чврстог раствора;
- термичка или термомеханичка обрада узорака ради испитивања утицаја параметара старења на механичке, физичке, топлотне и структурне особине;
- поступци карактеризације узорака легура након сваке фазе експеримента путем мерења тврдоће, микротврдоће, електричне проводности, топлотне дифузивности, топлотне проводности, специфичне топлоте, микроструктурне анализе (оптичким, SEM и TEM микроскопом) и диференцијално-термијске анализе.

У седмом поглављу (*Резултати и дискусија*) су презентовани резултати испитивања из оквира докторске дисертације, као и дискусија добијених резултата. На почетку су представљени резултати карактеризације жарених узорака. Истраживања у оквиру докторске дисертације обухватила су експериментална испитивања алуминијумских легура EN AW-6060 и EN AW-6082 са циљем проучавања механизма ојачавања старењем. Након сваке фазе експеримента дате су структурне, механичке, електричне и топлотне карактеристике, а са циљем проучавања утицаја термомеханичке обраде на механизме ојачавања и структурне промене у испитиваним легурама. Најпре је обрађен утицај растворног жарења и каљења, затим је акценат стављен на промену параметара старења и на то како ти параметри утичу на преципитационо ојачавање. Први параметар који је испитиван је температура растворног жарења. Након тога испитиван је утицај параметара изотермалног и изохроног вештачког старења на особине испитиваних легура. Параметри изотермалног жарења укључивали су коришћење две различите температуре са променом времена старења, док је изохроно старење укључивало коришћење два различита времена са променом температуре старења. Наставак испитивања огледао се у истраживању утицаја времена природног старења на особине испитиваних легура. Затим је испитиван и утицај времена природног старења на интензитет вештачког старења, комбинацијом ова два поступка. На крају, дати су резултати са дискусијом о утицају параметара термомеханичке обраде на особине испитиваних легура. Испитиван је различит режим термомеханичке обраде, где је деформација уношена пре и после старења. Карактеризацијом својстава испитиваних легура после различитих стадијума термомеханичке обраде било је могуће да се изврши оптимизација испитиваних особина.

У осмом поглављу (*Закључак*) су приказани најважнији закључци који су изведени на основу резултата добијених у докторској дисертацији.

У деветом поглављу (*Литература*) је представљена коришћена литература, која обухвата 96 релевантних референтних извора. Десето поглавље (*Биографија*) се односи на биографију кандидата, а у једанаестом поглављу (*Објављени радови проистекли из докторске дисертације*) дат је списак публикованих и саопштених радова проистеклих као резултат рада на дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Све бржи развој индустрије изискује побољшање особина постојећих материјала или добијање нових, напредних материјала. С обзиром на то да је последњих година донет велики број закона и регулатива о заштити животне средине, стандарди који прописују коришћење појединих материјала у индустрији постали су ригорознији и много захтевнији. Због тога су и истраживања у области механичких, физичких и структурних особина алуминијумских легура и данас веома актуелна. Алуминијум се може легирати великим бројем елемената. У зависности од количине и начина легирања, особине алуминијума и његових легура се могу мењати. Једна од најбитнијих одлика алуминијумских легура је могућност добијања одличног односа механичких и физичких особина, које су често обрнуто пропорционалне. Легуре алуминијума испитиваног система имају и веома високу топлотну и електричну проводност. Ове особине отвориле су могућност примене Al-Mg-Si легура у енергетици и микроелектроници.

Особине Al-Mg-Si легура, као и процеси који се одвијају приликом добијања и очвршћавања ових легура заинтриговали су научну заједницу последњих педесетак година. Ове легуре подложне су таложном ојачавању због појаве талога различитог стехиометријског састава Mg:Si. Поред овога, ове легуре такође спадају под оне које је могуће обрађивати пластичном прерадом, која додатно утиче на финалну структуру добијеног производа. Сам процес таложног ојачавања је веома комплексан и зависи од великог броја параметара. Сви ти параметри додатно утичу на финалну структуру и особине приликом израде производа, која још постаје комплекснија након примене термомеханичке обраде. Ова комплексност структуре ових легура се може сматрати позитивном, зато што промена параметара таложног ојачавања може довести до ширег дијапазона различитих структура и субструктура које притом мењају и особине легура.

Управо због ових разлога, испитивање различитих параметара термомеханичке обраде и њиховог утицаја на механичке, физичке, топлотне и структурне особине легура и даље су тема проучавања великог броја научних радова, а такође су тема и ове докторске дисертације.

Због специфичности Al-Mg-Si легура, истраживања су углавном усмерена на проучавању преципитационог низа, и на који начин преципитација метастабилних фаза утиче на микроструктуру и особине ових легура. Иако је потврђен ефекат ојачавања вештачким старењем код ових легура, у литератури нема потпуних података о утицају изохроног вештачког старења, већ су истраживања више усмерена ка изотермалном старењу. С обзиром на то да се легуре овог система најчешће израђују дубоким извлачењем изнад температуре рекристализације, мало пажње је посвећено различитим видовима термомеханичке обраде, посебно утицају хладне пластичне деформације на ефекат ојачавања старењем код ових легура, што отвара могућност за научно-истраживачки рад у овој области. За детаљнија истраживања самог механизма ојачавања старењем сем традиционалних примењене су и савремене методе и анализе: TEM, SEM и методе топлотне анализе.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У литературном прегледу докторске дисертације наведено је 96 литературних извора, од којих највећи број чине научни радови новијег датума који су објављени у часописима са импакт фактором, са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Наведене референце, које садрже експерименталне резултате истраживања многих истраживачких група, послужиле су за обраду прегледа досадашњих истраживања, као и за упоредну анализу и дискусију добијених резултата и закључака. Из пописа литературе која је коришћена у истраживању, уочава се добро познавање предметне области истраживања, као и познавање актуелног стања истраживања у овој области у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За карактеризацију легура EN AW-6060 и EN AW-6082 у испитиваном систему Al-Mg-Si у току спроведене термомеханичке обраде коришћено је више савремених, стандардизованих, високо резолутивних метода и аналитичких техника.

Испитивања механичких карактеристика обухватила су мерења тврдоће и микротврдоће применом стандардизованих метода мерења по ASTM E384 стандарду. Тврдоћа је мерена применом Викерсове методе на уређају за мерење тврдоће „VEB Leipzig“ при оптерећењу од 98 N и времену трајања оптерећења од 15 s, док је микротврдоћа одређена на уређају „ПМТ 3“ применом Викерсове методе, при оптерећењу од 0,98 N и трајању оптерећења од 15 s.

Физичка својства су праћена мерењем електричне проводности. За ова мерења је коришћен уређај за мерење електричне проводности „Institut dr. Förster Sigmatest 2.063“, који мери електричну проводност немагнетних материјала преко промене комплексне импедансе мерне сонде.

Топлотно понашање испитиваних легура након каљења је праћено применом методе диференцијално-скенирајуће калориметрије (DSC) и диференцијално-термијске анализе (DTA). Експерименти су вршени на термалном анализатору „Q600 SDT“ у инертној атмосфери азота уз константну брзину загревања од $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ до 600°C .

Топлотне особине (топлотна дифузивност, топлотна проводност, специфична топлота) легура EN AW-6060 и EN AW-6082 испитиване су на уређају „DXF-500“ уз помоћ Flash методе. Ова метода укључује апсорбовање пулса енергије високог интензитета са горње стране узорка у облику диска.

Микроструктурна анализа је обављена применом оптичке микроскопије (LOM) и скенирајуће електронске микроскопије са енергетско-дисперзивним спектрометром (SEM-EDS). За оптичку микроскопију је коришћен „Carl Zeiss Jena EPITYP 2“ оптички микроскоп за увећања од 200 или 500 пута. SEM анализа је извршена на скенирајућем електронском микроскопу „Tescan Vega 3 LMU“ са „X-Act Oxford Instruments“ EDS детектором.

За анализу микроструктуре на нано нивоу је примењена трансмисиона електронска микроскопија (ТЕМ). У циљу добијања електрон транспарентних ТЕМ фолија вршено је полирање и тањење на уређају за припрему „Gatan PIPS 691“. ТЕМ анализа је изведена на „Jeol JEM 2010F“ трансмисионом електронском микроскопу.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати су потврђени и литературним подацима, а у великој мери су дали и нова примењива сазнања о утицају примењеног режима термомеханичке обраде на побољшање особина алуминијумских легура (EN AW-6060 и EN AW-6082) са различитим уделом легирајућих елемената (Mg, Si, Fe, Mn), почевши од: примене краткотрајног високотемпературног старења у индустријским условима за израду алуминијумских легура у облику темпера Т6, при којима се добијају високе вредности механичких, физичких и топлотних особина; утицаја времена природног старења, које готово не може бити избегнуто чак ни у најсавременијим условима при изради алуминијумских легура; примене деформације пре и после вештачког старења, што омогућава добијање веома високих вредности механичких особина и добро хомогенизовану микроструктуру код испитиваних легура из ове серије; могућности примене добијених резултата у најсавременијим индустријама, где је тренутно велика потражња за материјалима са побољшаним топлотним особинама. Због свега тога, остварени резултати који су приказани у овој докторској дисертацији у великој мери допуњују и проширују сазнања о утицају примењеног режима термомеханичке обраде на особине и структуру Al-Mg-Si легура.

У експерименталном делу дисертације детаљно је описана процедура по којој је спроведена термомеханичка обрада легура, што даје могућност понављања истоветних експеримената и њихову непосредну верификацију. Додатна верификација остварених резултата је могућа и проширењем испитивања у смислу примене додатних метода, као и модификовањем услова истраживања.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Урош Стаменковић је током израде докторске дисертације испољио самосталност у претраживању савремене литературе, у припреми и реализацији истраживања, као и систематизацији и анализи добијених резултата. На основу испољеног квалитета, заинтересованости у обављању досадашњих научних и стручних активности, Комисија сматра да је кандидат Урош Стаменковић током израде дисертације у потпуности овладао методологијом научно-истраживачког рада.

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, њихово тумачење, проистекли публиковани научни радови и претходно учешће у реализацији научно-истраживачких пројеката, као и велики број до сада објављених радова, указују на способност кандидата Уроша Стаменковића, мастер инж. металургије за самостални научни рад, као и за активно учешће у тимском раду.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација под називом „Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде алуминијумских легура“ представља оригиналан и савремен рад чији се значајан научни допринос огледа у истраживању термомеханичког режима прераде Al-Mg-Si легура (EN AW-6060 и EN AW-6082 са различитим уделом легирајућих елемената Mg, Si, Fe, Mn) које преципитационо ојачавају (ојачавају старењем) и сматра се значајним због остварених резултата који ће допринети:

- знатном побољшању механичких, физичких, топлотних и микроструктурних особина испитиваних легура,
- одређивању карактеристика њиховог понашања при различитим видовима термомеханичке обраде, посебно при процесу хладне деформације,
- одређивању утицаја преципитационог ојачавања (ојачавања старењем) на топлотне особине легура због све већег присуства ових легура у електронској индустрији,
- проширењу њихове области примене код израде композитних материјала са алуминијумском основом,
- креирању нових индустријски применљивих видова термомеханичке обраде Al-Mg-Si легура које преципитационо ојачавају (ојачавају старењем).

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Постављени циљеви и задаци истраживања у докторској дисертацији, остварени су у потпуности. Добијени резултати експерименталног истраживања у оквиру дисертације умногоме су дали нове корисне информације о ефекту ојачавања старењем алуминијумских легура након термичке или термомеханичке обраде.

Ово истраживање се сматра значајним због остварених резултата који ће допринети проширењу и надоградњи постојећих сазнања о утицају режима термичке и термомеханичке обраде на особине и структуру Al-Mg-Si легура.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација ове докторске дисертације је у складу са позитивним законским одредбама у Републици Србији и критеријумима Универзитета у Београду међу којима се предвиђа и објављивање најмање једног рада из дисертације у међународном часопису са импакт фактором, на коме је кандидат првопотписани аутор. Кандидат Урош Стаменковић је до тренутка предавања дисертације за јавну обраду објавио два рада у часописима из категорије M20. Научни допринос ове докторске дисертације је верификован кроз публикације проистекле као резултат истраживања у оквиру дисертације, али је реално очекивати да ће

списак радова из оквира ове дисертације бити значајно проширен у наредном периоду, обзиром да је у току припреме дисертације и овог Извештаја још радова на рецензији у међународним научним часописима. У даљем тексту је дат списак до сада објављених радова у научним часописима и радова саопштених на конференцијама, који су проистекли из ове докторске дисертације:

Из ове дисертације, односно из њених делова, објављени су следећи радови:

Категорија M23 (Рад у међународном часопису):

1. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, Lj. Balanović, M. Gorgievski, The effect of precipitation of metastable phases on the thermophysical and mechanical properties of the EN AW-6082 alloy, *Revista de Metalurgia*, 55(4)(2019) e156, doi: 10.3989/revmetalm.156 (ISSN-L: 0034-8570; IF(2018)=0.540, Metallurgy & Metallurgical Engineering 64/76, M23).
2. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, The influence of isochronal aging on the mechanical and thermophysical properties of the EN AW-6060 aluminum alloy, *Bulgarian Chemical Communications*, 51(3)(2019) 372-377, doi: 10.34049/bcc.51.3.50182019 (ISSN: 0324-1130; IF(2017)=0.242, Chemistry, Multidisciplinary 167/171, M23).

Категорија M33 (Саопштење са међународног скупа штампано у целини):

1. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, Optical microscopy and SEM-EDS analysis of phases in age hardenable and recyclable aluminum alloys from 6000 series, *XXIV International Conference "Ecological Truth" EcoIst '16*, Vrnjačka Banja, Serbia, 2016, pp. 216 – 222.
2. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, Effect of ageing temperature on properties of EN-AW 6060 aluminium alloy, *48th International October Conference on Mining and Metallurgy*, Bor, Serbia, 2016, pp. 327 – 330.
3. **U. Stamenković**, I. Marković, M. Dimitrijević, D. Medić, SEM and EDS investigation of Zn-Sn alloys as potential high temperature lead-free solder, *XXV International Conference "Ecological Truth" Eco-Ist '17*, Vrnjačka Banja, Serbia, 2017, pp. 196 – 200.
4. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, D. Gusković, S. Marjanović, The effects of different aging treatments on the microhardness and thermal diffusivity of the EN AW-6060 and EN AW-6082 aluminum alloys from 6000 series, *XXVII International Conference "Ecological Truth & Environmental Research" Eco-TER '19*, Bor Lake, Bor, Serbia, 2019, pp. 386-391.
5. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, V. Grekulović, J. Petrović, M. Bošković, The effect of the aging process on the different properties of the EN AW-6082 aluminum alloy, *18th International Foundrymen Conference*, Sisak, Croatia, 2019, pp. 363-369.
6. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, S. Mladenović, D. Manasijević, Lj. Balanović, The influence of natural aging and pre-aging on the mechanical, physical and microstructural properties of the EN AW-6060 aluminum alloy, *XXVI International Scientific and Technical Conference Foundry 2019*, Pleven, Bulgaria, 2019, pp. 19-21.

Категорија M34 (Саопштење са међународног скупа штампано у изводу):

1. **U. Stamenković**, Representation of microstructure of artificially aged 6061 aluminum alloy using two different etching solutions, *Thirteenth Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering*, Beograd, Serbia, 2014, pp. 24 – 24.

2. **U. Stamenković**, S. Ivanov, Influence of chemical composition and heat treatment on properties of 6xxx aluminium alloys, *2nd International Student Conference on Geology, Mining, Metallurgy, Chemical Engineering, Material Science and Related Fields*, Bor, Serbia, 2015, pp. 2 – 2.
3. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, M. Gorgievski, L. Balanović, Effect of the precipitation of metastable phases on the thermal properties of aluminium alloys from 6000 series, *4th Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry - CEEC-TAC4*, Chisinau, Moldova, 2017, pp. 390 – 390.

Категорија М51 (Рад у часопису националног значаја):

1. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, N. Štrbac, A. Mitovski, Uticaj temperature rastvornog žarenja na svojstva aluminijumskih legura iz serije 6000, *Tehnika – rudarstvo, geologija i metalurgija*, 68(4)(2017) 523 – 527, doi: 10.5937/tehnika1704523S, ISSN 0040-2176.

Категорија М64 (Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу):

1. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, Influence of high-temperature ageing on properties of 6xxx aluminium alloys (Uticaj visoko-temperaturnog starenja na svojstva aluminijumskih legura iz serije 6000), *Treća konferencija mladih hemičara Srbije*, Beograd, Serbia, 2015, pp. 87 – 87.
2. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, Mikrostrukturalna karakterizacija Al-Mg-Si legure posle termičke obrade starenjem (Microstructural characterization of the Al-Mg-Si alloy after aging heat treatment), *Četvrta konferencija mladih hemičara Srbije*, Beograd, Serbia, 2016, pp. 92 – 92.
3. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, Influence of isochronal aging treatment on properties of aluminium alloys from 6000 series, *Osmi simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima*, Kosovska Mitrovica, Serbia, 2017, pp. 76 – 76.
4. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, M. Mitrović, The influence of thermomechanical treatment on the properties of the EN AW-6082 aluminium alloy, *9. simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem*, Kosovska Mitrovica, Serbia, 2019, pp. 30.
5. **U. Stamenković**, S. Ivanov, I. Marković, The influence of thermomechanical treatment on the properties of the EN AW-6060 aluminium alloy, *55. Savetovanje srpskog hemijskog društva*, Niš, Serbia, 2019, pp. 46.

Испитивања обухваћена предметном докторском дисертацијом представљају део истраживања у оквиру текућег пројекта „Савремени вишекомпонентни метални системи и наноструктурни материјали са различитим функционалним својствима“ Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (реализатор: Технички факултет у Бору, ОИ172037, руководилац: проф. др Драган Манасијевић, циклус 2011-2019.).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација Уроша Стаменковића, мастер инж. металургије, под називом „Истраживање ефекта ојачавања старењем током термомеханичке обраде алуминијумских легура“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области Металуршког инжењерства. Добијени резултати истраживања у оквиру дисертације представљају нова сазнања о ефекту ојачавања старењем алуминијумских легура у систему Al-Mg-Si након термомеханичке обраде. Комисија закључује да је урађена дисертација написана према стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима за акредитацију, Статутом Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду и критеријумима које је прописао Универзитет у Београду. У дисертацији предмет и циљеви истраживања су јасно наведени и остварени, а приказани резултати су применљиви у пракси. На основу прегледане докторске дисертације, као и увида у верификован научни допринос кроз објављене радове у часописима (2 рада као првопотписани аутор у међународним часописима категорије M23 и 1 рад у домаћем часопису M51) и на домаћим и међународним научним скуповима (14 саопштених радова), Комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације закључује да кандидат Урош Стаменковић, мастер инж. металургије, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације и предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду да се докторска дисертација прихвати, изложи на увид јавности у законски предвиђеном року и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидата на јавну одбрану.

У Бору, децембра 2019. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Светлана Иванов, редовни професор
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

.....
Проф. др Ивана Марковић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

.....
др Владан Ћосовић, научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за хемију,
технологију и металургију Београд