ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Образац 2

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

35/52
(Број захтева)
26.03.2018.
(датум)

(назив већа научне области коме се захтев упућује)

Београд, Студентски трг бр. 1

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тачка 4. Статута Универзитету у Београду ("Гласник Универзитета у Београду" број 162/11, пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

АНЕ (Боро) АЛИЛ, дипломираног инжењера за металургију и металне материјале

КАНДИДАТ: **АНА (Боро) АЛИЛ** пријавила је докторску дисертацију под називом:
„**Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем**"

Из научне области: **МЕТАЛУРШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Универзитет је дана **16.05.2016.** године, својим актом **61206-2283/2-16**, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:
„**Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем**"

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **АНЕ (Боро) АЛИЛ** образована је на седници Наставно-научног већа одржаној **30.11.2017.** године Одлуком Факултета под бр. **35/480,** у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Миљана Поповић	Редовни професор	Металургија
2. Др Ендре Ромхањи	Редовни професор у пензији	Металургија
3. Др Тамара Радетић	Научни саветник	Металургија
4. Др Јелена Бајат	Редовни професор	Електрохемија
5. Др Зијах Бурзић	Научни саветник	Металургија

Студен је уписан на докторске студије шк. 2010/2011. године. На захтев студента, а уз сагласност ментора, декан је донео Решење бр. 20/149 од 06.10.2016. године о продужењу рока за завршетак студија за два семестра шк. 2016/2017 године.
На захтев студента и на предлог ментора, Наставно-научно веће донело Одлуку бр. 35/352 од 21.09.2017. године о продужењу рока за завршетак студија и за још два семестра шк. 2017/2018. год.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **22.02.2018.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ДIV

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 104. став 3. Статута Универзитета у Београду,чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 22.02.2018. године, донета је

О Д Л У К А
о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Миљана Поповић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Ендре Ромхањи, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Тамара Радетић, научни саветник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јелена Бајат, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Зијах Бурзић, научни саветник Војнотехничког института у Београду, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем“**коју је поднела **Ана Алил,** дипломирани инжењер за металургију и металне материјале и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ана Алил, под називом **„Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем“** Одлуком број: 61206-2283/2-16 од 16.05.2016. године.

Верификација научних доприноса:

Kategorija M21a:
1. **Alil, A.,** Popović, M., Radetić, T., Zrilić, M., Romhanji, E.: Influence of annealing temperature on the baking response and corrosion properties of an Al–4.6 wt% Mg alloy with 0.54 wt% Cu, Journal of Alloys and Compounds, vol. 625, pp.76-84, 2015 (IF=3.014, 4/73) (ISSN 0925-8388) http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.11.063.

Kategorija M22:
1. **Alil, A.,** Popović, M., Bajat, J., Romhanji, E.: Mechanical and corrosion properties of AA5083 alloy sheets produced by accumulative roll bonding (ARB) and conventional cold rolling (CR), Materials and Corrosion, 2017 https://doi.org/10.1002/maco.201709915, (IF(2016)=1.26, 27/74) (ISSN 0947-5117).

Докторска дисертација и реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ане Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/480 од 30.11.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Ане Алил**, дипл. инж. металургије и металних материјала, под насловом

"Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем"

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

Р Е Ф Е Р А Т

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2010/2011. - Кандидат Ана Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, уписала је докторске академске студије на Технолошко металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Металуршко инжењерство.
28.01.2016. – Кандидат Ана Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, предложила је Наставно-научном већу Технолошко металуршког факултета у Београду, тему за израду докторске дисертације под називом: "Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем".
03.03.2016. - На седници Наставно-научног већа Технолошко металуршког факултета у Београду, донета је одлука бр. 35/93 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ане Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, за израду докторске дисертације под називом: "Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем".
14.04.2016. - На седници Наставно-научног већа Технолошко металуршког факултета у Београду, донета је одлука бр. 35/190 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ане Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, за израду докторске дисертације под називом: "Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем".
16.05.2016. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, одлуком бр. 61206-2283/2-16, дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Ане Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, под називом: "Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем".
06.10.2016. – Декан Технолошко металуршког факултета у Београду, на захтев кандидата и уз сагласност ментора, донео је решење бр. 20/149 о продужењу рока за завршетак студија за два семестра шк. 2016/2017.

21.09.2017. - Наставно-научно веће Технолошко металуршког факултета у Београду, на захтев кандидата и уз сагласност ментора, донело је одлуку бр. 35/352 о продужењу рока за завршетак докторских студија, у трајању од два семестра шк. 2017/2018.
30.11.2017. - На седници Наставно-научног већа Технолошко металуршког факултета у Београду, донета је одлука бр. 35/480 о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, кандидата Ане Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, под називом: "Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем".

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Металуршко инжењерство, за коју је матичан Технолошко металуршки факултет Универзитета у Београду. За ментора је именована Др Миљана Поповић, редовни професор Технолошко металуршког факултета, Универзитета у Београду, која је на основу досадашњих објављених радова, наставног и истраживачког искуства, компетентна да руководи израдом ове дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ана Алил, дипломирани инжењер металургије и металних материјала, рођена је 30.04.1985. у Београду. Основне академске студије на Технолошко металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму за Металуршко инжењерство, завршила је 2010. са просечном оценом положених испита 9.55, и оценом 10 на дипломском раду. 2004. године, добила је диплому фонда "Панта С. Тутунџић", а 2010. специјално признање Српског хемијског друштва које се додељује најбољим студентима хемије и хемијске технологије на Универзитетима у Србији. Школске 2010/2011. била је стипендиста Задужбине Студеница Конгреса Српског Уједињења.

Школске 2010/2011. уписала је докторске академске студије на Технолошко металуршком факултету у Београду, на студијском програму Металуршко инжењерство. У оквиру докторских студија, положила је све испите предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 9.85, и у октобру 2014. одбранила завршни испит са оценом 10. Решењем бр. 20/149, које је донео Декан Технолошко металуршког факултета у Београду, продужен јој је рок за завршетак студија за два семестра шк. 2016/2017, а Наставно-научно веће Технолошко металуршког факултета у Београду, на захтев кандидата и уз сагласност ментора, донело је одлуку бр. 35/352 о продужењу рока за завршетак докторских студија, у трајању од два семестра шк. 2017/2018.

Од 2010-2013. била је запослена у Институту Гоша у Београду, као истраживач-приправник у периоду 2010-2011, а од 2011-2013, као истраживач сарадник, где је у периоду 2011-2013 била ангажована на пројекту ТР34022 под називом: "Дијамантске превлаке произведене из угљоводоника методом равног пламена." У току 2012/2013. У Институту Гоша у Београду, завршила је специјализацију у области заваривања и сродних поступака према критеријумима Међународног Института за Заваривање (IIW) и стекла звање "међународни инжењер заваривања" (SRB/IWE/00342).

Од августа 2013. запослена је у Иновационом центру Технолошко металуршког факултета у Београду, као истраживач сарадник (2013-2017), односно као стручни сарадник (од октобра 2017), где је ангажована је на пројекту ТР34018 "Развој технологије производње и заваривања Al-Mg легура високе чврстоће за примену у конструкцијама друмских и железничких транспортних средстава". Од шк. 2015/2016. учествовала је у извођењу рачунских и експерименталних вежби из предмета Механика и деформационо понашање метала и Деформационо процесирање метала, на основним академским студијама на студијском профилу Металуршко инжењерство. Учествовала је у реализацији дела експеримената за 3 завршна и 1 мастер рад из области металуршког инжењерства. Такође,

похађала је курсеве (MathCad, Writing in the Sciences, Академске вештине), учествовала у радионицама ("How to write a world class paper", Microscopy Workshop – SEM, "Успешно лиценцирање технологије (STL)", Увод у патентни систем, Espacenet радионица) и похађала предавања гостујућих предавача из области заштите интелектуалне својине и трансфера технологије, и из области металуршког инжењерства и инжењерства материјала.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Ане Алил, дипл. инжењера металургије и металних материјала, под називом: "Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем", написана је на 170 страна, у оквиру којих се налази 105 слика, 21 табела и 160 литературних навода. Докторска дисертација садржи следеће целине: Увод, Преглед литературе, Експериментални део, Резултате и дискусију и Закључак. Поред тога, садржи Извод на српском и енглеском језику, Литературу, Садржај, Биографију аутора и додатке прописане Општим правилима Универзитета у Београду, о писању и обликовању докторске дисертације (изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, изјава о коришћењу). По форми и садржају, написана докторска дисертација задовољава све критеријуме Универзитета у Београду о обликовању и садржају докторске дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводу су дефинисани предмет и циљеви докторске дисертације. Објашњен је значај Al-легура, које имају велики потенцијал за примену у индустрији транспортних средстава, као и разлози за избор Al-Mg легура за ту намену. Такође, наведени су разлози за процесирање Al-Mg легура неконвенционалним поступцима термо механичке прераде, и проучавање ефеката ојачавања који се постижу њиховом применом код Al-Mg легура.

У поглављу Прегледа литературе (поглавље 1) наведене су најважније карактеристике Al-Mg легура за деформацију, које припадају групи Al-легура које не ојачавају механизмом таложног ојачавања. Наведени су основни механизми ојачавања, растварајуће и деформационо ојачавање, као и ојачавање које настаје рафинацијом структуре, односно смањењем величине зрна. Такође, детаљно су размотрена сва досадашња истраживања везана за могућност побољшања својстава Al-Mg легура са повећаним садржајем Mg (>4% Mg), које су погодне за примену у конструкцијама транспортних средстава. Истакнут је значај и потреба истраживања Al-Mg легура различитог хемијског састава, као и проучавање ефеката ојачавања који се постижу рафинацијом структуре, односно применом савремених, неконвенционалних поступака термо механичке прераде. Дат је приказ постојећих неконвенционалних метода пластичне деформације које, за разлику од конвенционалних поступака прераде, као што је класично ваљање, стварају услове за развој нових материјала са ултра фином величином зрна и унапређеним својствима, због чега привлаче значајну пажњу, као потенцијал у изради делова, који треба да задовоље, или превазиђу тренутне захтеве у индустрији транспортних средстава. Посебно су објашњени принципи поступка акумулативног спајања ваљањем, као и утицај процесних параметара на развој микроструктуре и потенцијал за ојачавање у току ARB поступка спајања ваљањем. Наведене су предности ARB поступка у односу на остале неконвенционеалне поступке пластичне деформације, којима се постиже ојачавање рафинацијом структуре, као и потенцијал за увођење у индустријску праксу овог поступка. У поглављу, које се односи на корозионо понашање Al-Mg легура, размотрена су актуелна истраживања везана за проблематику повећане осетљивости према корозији код легура са > 3% Mg, као и за потребу истраживања у овој области.

У Експерименталном делу дисертације (поглавље 2) дат је детаљан опис испитиваног материјала, коришћених експерименталних метода и услова термо механичке прераде за добијање вишеслојних Al-Mg трака. За испитивање су коришћене Al-Mg легуре, које су индустријски произведене у Ваљаоници алуминијума у Севојну, и испоручене у виду топловаљаних трака. Описани су услови термо механичке прераде топло ваљаних трака, као и услови ARB процесирања за добијање вишеслојних трака поступком спајања ваљањем. Наведене су методе коришћене за карактеризацију, која је обухватила металографска испитивања путем оптичке микроскопије (OM), скенирајућу електронску микроскопију (SEM), испитивања механичких својстава и мерење електричне проводљивости. Осетљивост према интергрануларној корозији оцењена је у NAML тесту, у складу са одговарајућим стандардом ASTM G67. За електрохемијска испитивања коришћене су методе потенциодинамичке поларизације и електрохемијске спектроскопске импеданце (EIS).

У делу Резултати и дискусија (поглавље 3), приказани су и анализирани добијени експериментални резултати. Приказани су и објашњени ефекти примене конвенционалног поступка деформације хладним ваљањем и неконвенционалног ARB поступка спајања ваљањем на развој структуре и на механичка својства испитиваних Al-Mg легура. Показано је да се стандардна легура типа AA5083 може процесирати у 6 ARB провлака на собној температури, са укупним степеном деформације од 98.4%, док се класичним поступком хладног ваљања постиже максимални степен деформације 91%. У делу који се односи на процесирање модификоване легуре AA5083+Zn, која садржи 0.5% Zn, дате су карактеристике ARB процесирања и конвенционалног хладног ваљања, као и утицај поступка деформације на развој микроструктуре и на механичка својства добијених вишеслојних и једнослојних Al-Mg трака. Показано је да се модификована AA5083+Zn легура може процесирати у 4 ARB провлака на собној температури, са укупним степеном деформације од 93.8%, док је класичним поступком хладног ваљања остварен степен деформације од 87 %. У овом делу је описано како степен остварене деформације, начин процесирања, као и садржај легирајућих елемената, утичу на развој микроструктуре, механичка својства и на потенцијал за ојачавање испитиваних легура. Дата су објашњења установљених корелација између режима прераде, механичких својстава и структурних карактеристика, као и корозионог понашања испитиваних Al-Mg легура. У поглављу које се односи на корозионо понашање испитиваних легура, приказани су резултати испитивања склоности према интергрануларној корозији (IGC), за стандардну AA5083 и модификовану легуру AA5083+Zn. Утврђено је да отпорност према интергрануларној корозији зависи од развоја микроструктуре у току прераде, односно од количине и расподеле β-фазе, која се издваја у току сензитизације, примењене технике процесирања и оствареног степена деформације. Наиме, микроструктура вишеслојних трака коју карактерише појава смицајних трака, и присуство пасивног филма између слојева добијених ARB деформацијом, показује да ARB процесирање може бити ефикасан алат за модификацију микроструктуре, који повећава отпорност према интергрануларној корозији Al-Mg легура. Уочено је да се количина талога β-фазе повећава са повећањем степена пластичне деформације, при чему се већа количина β-фазе исталожи у току сензитизације хладно ваљаних трака, добијених класичним ваљањем. Показано је да удео β-фазе није кључни фактор за склоност према IGC, већ морфологија и расподела β-фазе у структури. Разлика у корозионој стабилности једнослојних и вишеслојних Al-Mg трака потврђена је резултатима електрохемијских испитивања, која су у сагласности са резултатима испитивања осетљивости према интергрануларној корозији.

У Закључку (поглавље 4) је таксативно дат преглед и анализа свих важних констатација и објашњења који одговарају постављеним циљевима дисертације, као и предлог за даља истраживања у овој области. На крају дисертације наведена је Литература, која садржи све литературне наводе цитиране у раду.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема ове дисертације проистекла је из захтева индустрије за побољшањем својстава Al-Mg легура, које имају велики потенцијал за примену у индустрији транспортних средстава, јер постоји стална тежња за смањењем тежине конструкције, потрошње горива и емисије штетних гасова. Поред наведених предности, које омогућава примена Al-Mg легура у конструкцијама транспортних средстава, један од важних захтева односи се на могућност побољшања механичких својстава, односно на обезбеђење високог нивоа чврстоће и способности обликовања. Смањење величине зрна представља један од механизама ојачавања, који истовремено може обезбедити суперпластично понашање Al-Mg легура на ниским температурама. Због тога, постоји стална истраживачка тежња за постизањем што финије микроструктуре, са величином зрна < 5 μm, која обезбеђује захтевана својства. Конвенционалним поступцима термомеханичке прераде (ТМП), који најчешће представљају комбинацију деформације ваљањем и жарења, није могуће постизање структуре са величином зрна <10-15 μm. Осим тога, конвенционални поступци ТМП имају геометријска ограничења у погледу максималног степена деформације који се може остварити у току прераде ($\varepsilon<2$), као и у погледу капацитета за ојачавање механизмом растварајућег и деформационог ојачавања. Због тога је велики број истраживања у свету посвећен развоју нових, неконвенционалних процеса прераде, који омогућавају рафинацију зрна и постизање микроструктуре са ултра фином величином зрна 0.1-5 μm или, са величином зрна <100 nm (нано-структура). Један од неконвенционалних поступака прераде којим се постижу ултра велики степени деформације ($\varepsilon>4$), и обезбеђује рафинација структуре до суб-микронске величине зрна је поступак акумулативног спајања ваљањем, односно ARB поступак, којим се производе вишеслојни Al-Mg лимови и траке. Добијени вишеслојни материјали имају јединствену комбинацију својстава, која се постиже захваљујући активирању различитих механизама деформације и ојачавања, а ARB поступак се може сматрати супериорним у односу на поступак конвенционалног ваљања.

Највећи број досадашњих истраживања Al-Mg легура односи се на проучавање ARB процесирања на повишеним температурама. Због тога је у оквиру ове дисертације испитивана могућност спајања ваљањем, односно ARB процесирања Al-Mg легура на собној температури. Испитиване су легуре са садржајем Mg > 4%, јер је очекиван већи потенцијал за ојачавање на собној температури, са повећањем садржаја Mg, као и са повећањем укупно оствареног степена ARB деформације. Пошто је један од важних захтева за примену Al-Mg легура са > 4% Mg, добра корозиона постојаност, један део испитивања је посвећен проучавању утицаја микроструктуре која се формира у току ARB процесирања, на отпорност према корозији. Оригиналност ове докторске дисертације огледа се у успостављању корелације између микроструктуре и механичких, односно корозионих својстава вишеслојних Al-Mg трака, добијених хладним ваљањем са великим степеном деформације, и њиховом поређењу са својствима трака добијених конвенционалним хладним ваљањем.

На основу опсежног прегледа литературе, може се закључити да се истраживања у оквиру ове дисертације уклапају у светске трендове и указују на значај и актуелност проучаване проблематике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације детаљно је анализирана научна и стручна литература из предметне области. Највећи број литературних навода у докторској дисертацији чине радови новијег датума из међународних часописа, са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Анализа резултата досадашњих истраживања која су се односила на проучавање могућности за побољшање механичких својстава Al-Mg легура, као

и на проучавање неконвенционалних поступака термомеханичке прераде, као што је акумулативно спајање ваљањем или ARB поступак, омогућили су јасно дефинисање научних циљева ове докторске дисертације. Предложена истраживања полазе од претпоставке да се већи степен ојачавања може постићи уколико се ARB поступак изводи на собној температури, и да степен ојачавања зависи од садржаја Mg и осталих легирајућих елемената. Детаљним прегледом литературе утврђено је да је веома мало пажње посвећено проучавању корозионог понашања Al-Mg легура, односно вишеслојних Al-Mg трака, које су процесиране великим степеном деформације на собној температури, у условима који су изван конвенционалних услова прераде. Због тога је један од циљева ове дисертације био да се успостави корелација између микроструктурних промена у току деформације ARB поступком, потенцијала за ојачавање и корозионих карактеристика вишеслојних трака произведених од Al-Mg легура са повећаним садржајем Mg, > 4% Mg.

У оквиру литературних навода налазе се и референце кандидата Ане Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, проистекле из спроведених истраживања у области докторске дисертације, које су објављене у часописима међународног значаја и на међународној конференцији. На основу прегледа литературе која је коришћена у истраживању и објављених радова, уочава се адекватно познавање предметне области истраживања и актуелног стања истраживања у овој области.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За испитивање у овој докторској дисертацији коришћене су индустријски произведене Al-Mg легуре, које садрже > 4% Mg, и то стандардна легура типа AA5083 са 4.2% Mg, и модификована легура AA5083+Zn, која садржи 5.1% Mg и 0.5% Zn. За производњу вишеслојних Al-Mg трака коришћен је неконвенционални поступак акумулативног спајања хладним ваљањем, односно ARB поступак. У зависности од максимално остваренog степена деформације, односно од броја ARB провлака, произведене су траке дебљине 1 mm, које се састоје од 2, односно 64 слоја, за легуру AA5083. У случају модификоване легуре AA5083+ Zn, произведене вишеслојне траке састоје се од 2 до 16 слојева. Осим вишеслојних Al-Mg трака, за испитивање у овој докторској дисертацији, поступком конвенционалног хладног ваљања произведене су једнослојне траке, које су деформисане различитим степеном хладне деформације.

Карактеризација микроструктуре произведених вишеслојних и једнослојних Al-Mg трака, извршена је у различитим фазама прераде коришћењем светлосне (оптичке) микроскопије (OM) и скенирајуће електронске микроскопије (SEM). За идентификацију фаза присутних у структури коришћена је скенирајућа електронска микроскопија са енерго-дисперзивном спектрометријом (SEM/EDS). У свакој фази прераде извршено је мерење електричне проводљивости, чија вредност зависи од концентрације дефеката у структури (растворени атоми, дислокације, празнине, и др.), а промена вредности указује на процесе растварања или таложења различитих фаза у структури. За одређивање потенцијала за ојачавање и одређивање механичких својстава извршено је испитивање једноосним затезањем на собној температури и мерење тврдоће по Brinell-у. За испитивање склоности према интергрануларној корозији коришћен је NAML тест, изведен према ASTM G67 стандарду, који се заснива на мерењу губитка масе у азотној киселини. За електрохемијска испитивања коришћене су методе потенциодинамичке поларизације и електрохемијске спектроскопске импеданце (EIS). Примењене научне метде омогућиле су доследност у извођењу сваке етапе експерименталног рада.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу резултата истраживања добијених у овој докторској дисертацији било је могуће утврдити потенцијал за ојачавање индустријски произведених Al-Mg легура, у

условима деформације који су изван конвенционалних услова прераде ваљањем. Резултати испитивања показали су да се применом великих степена деформације, изван уобичајених услова прераде деформацијом, постиже повољна комбинација особина Al-Mg легура које садрже > 4% Mg. Повећан ниво чврстоће, пластичност и корозиона постојаност, указују на супериорност ARB поступка спајања ваљањем, у односу на конвенционално хладно ваљање. Поступак ARB спајања ваљањем на собној температури пружа велику могућност за увођење у индустријску праксу, без додатних захтева за скупом пратећом опремом и конструкцијом сложених алата, јер се успешно изводи на класичном ваљачком стану. У односу на остале неконвенционалне поступке термо механичке прераде, значај ARB поступка огледа се и у томе, што је овим поступком прераде могуће произвести масивне комаде великих димензија, који се могу даље обликовати.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Ана Алил, дипл. инж. металургије и металних материјала, показала је склоност ка бављењу научно-истраживачким радом, испољавајући током израде докторске дисертације самосталност у прегледу и анализи научне литературе, планирању и извођењу експеримента, као и у обради и дискусији добијених резултата. Током истраживања овладала је великим бројем експерименталних техника. На основу досадашњег рада, Комисија је утврдила да кандидат има способности за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове дисертације остварен је значајан допринос у разумевању и успостављању корелације између развоја микроструктуре, механичких својстава и корозионих карактеристика Al-Mg легура са > 4% Mg, које су процесиране конвенционалним поступком хладног ваљања и неконвенционалним поступком акумулативног спајања ваљањем, односно ARB поступком. Најзначајнији научни доприноси ове дисертације су:

- Дефинисање оптималних услова ARB поступка спајања ваљањем на собној температури за добијање вишеслојних Al-Mg трака;
- Дефинисање максималног степена деформације који је могуће остварити при ARB процесирању испитиваних Al-Mg легура са различитим садржајем Mg;
- Утврђивање потенцијала за ојачавање Al-Mg легура са > 4% Mg, које су процесиране ARB поступком, у условима великих остварених степена деформације, изван конвенционалних услова прераде ваљањем;
- Утврђивање утицаја оствареног степена деформације, поступка процесирања и хемијског састава, односно садржаја легирајућих елемената, на развој микроструктуре, механичка и корозиона својства Al-Mg трака;
- Успостављање корелације између микроструктуре, механичких и корозионих својстава једнослојних и вишеслојних Al-Mg трака, које су процесиране конвенционалним поступком хладног ваљања и неконвенционалним ARB поступком спајања ваљањем;
- Утврђивање утицаја микроструктуре, која се формира у току ARB спајања ваљањем и конвенционалног хладног ваљања, на издвајање β-фазе у току ниско температурног жарења, односно, на осетљивост испитиваних Al-Mg легура према интергрануларној корозији;
- Утврђивање утицаја ARB поступка спајања ваљањем на побољшање својстава Al-Mg легура, које садрже > 4% Mg, за примену у конструкцијама транспортних средстава.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације конципирана су на основу детаљне анализе резултата претходних истраживања, која се односе на могућност побољшања механичких својстава Al-Mg легура рафинацијом структуре, која се постиже применом неконвенционалног ARB поступка спајања ваљањем. Досадашња истраживања Al-Mg легура односила су се на проучавање ефеката ојачавања ARB процесирањем на повишеним температурама или на проучавање Al-Mg легура са мањим садржајем Mg (< 3% Mg). Због тога је у оквиру ове дисертације испитивана могућност спајања ваљањем, односно ARB процесирања Al-Mg легура на собној температури. Испитиване су легуре са садржајем Mg > 4%, при чему је показано да потенцијал за ојачавање на собној температури, расте са повећањем садржаја Mg, као и са повећањем укупно оствареног степена ARB деформације.

Пошто је један од важних захтева за примену Al-Mg легура са > 4% Mg, добра корозиона постојаност, један део испитивања је посвећен проучавању утицаја микроструктуре која се формира у току ARB процесирања, на отпорност према корозији. Детаљним прегледом литературе утврђено је да је веома мало пажње посвећено проучавању корозионог понашања Al-Mg легура, односно вишеслојних Al-Mg трака, које су процесиране великим степеном деформације на собној температури, у условима који су изван конвенционалних услова прераде. Због тога је један од значајних научних доприноса ове дисертације успостављање корелације између микроструктурних промена у току деформације ARB поступком, потенцијала за ојачавање и корозионих карактеристика вишеслојних трака произведених од Al-Mg легура са повећаним садржајем Mg, > 4% Mg. Наиме, показано је да су услови за одвијање деформације, односно услови трења у току ARB процесирања, довели до активирања нових механизама деформације, што је утицало на развој микроструктуре, а самим тим и на механичка и корозиона својства. Такође, развој микроструктуре, која је формирана у току ARB спајања ваљањем, утицао је повољно на расподелу и морфологију издвојене β-фазе у току ниско температурног жарења, односно, на повећање отпорности испитиваних Al-Mg легура према интергрануларној корозији.

На тај начин, научни допринос ове докторске дисертације представља унапређење постојећих знања, и показује да ARB поступак прераде има велики потенцијал за примену у производњи Al-Mg трака са побољшаним механичким и корозионим својствима, и може се сматрати супериорним у односу на процес конвенционалног хладног ваљања.

4.3. Верификација научних доприноса

Рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a):

1. **Alil, A.**, Popović, M., Radetić, T., Zrilić, M., Romhanji, E.: Influence of annealing temperature on the baking response and corrosion properties of an Al–4.6 wt% Mg alloy with 0.54 wt% Cu, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 625, pp.76-84, 2015 (IF=3.014, 4/73) (ISSN 0925-8388) http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.11.063.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

1. **Alil, A.,** Popović, M., Bajat, J., Romhanji, E.: Mechanical and corrosion properties of AA5083 alloy sheets produced by accumulative roll bonding (ARB) and conventional cold rolling (CR), *Materials and Corrosion*, 2017 https://doi.org/10.1002/maco.201709915, (IF(2016)=1.26, 27/74) (ISSN 0947-5117).

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24):

1. **Alil, A.**, Popović, M., Radetić, T., Romhanji, E.: Influence of an accumulative roll bonding (ARB) process on the properties of AA5083 Al-Mg alloy sheets, *Metallurgical and Materials Engineering*, vol.20, no.4, pp.285-295, 2014 (ISSN 2217-8961).

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

1. **Alil, A.**, Popović, M., Radetić, T., Romhanji, E.: Intergranular Corrosion Susceptibility of an AA5083 Al-Mg Alloy Processed by Accumulative Roll Bonding (ARB), *Metallurgical &*

Materials Engineering Congress of South-East Europe 2015, Belgrade, Serbia, June 3-5, 2015, Proceedings and Book of Abstracts, pp.111-117 (ISBN 978-86-87183-27-8).

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у изводу (М34):

1. **Alil, A.**, Popović, M., Romhanji, E.: Mechanical properties of two Al-Mg alloys manufactured by accumulative roll bonding (ARB) process, *3rd Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe 2017,* Belgrade, Serbia, June 1-3, 2017, Proceedings and Book of Abstracts, pp. P72 (ISBN 987-86-87183-29-2).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидата **Ане Алил**, дипл. инж. металургије и металних материјала, под називом, **"Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем"**, представља значајан оригинални научни допринос у области Металуршког инжењерства, што је потврђено објављивањем радова у релевантним часописима међународног значаја. Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације сматра да су постављени циљеви у потпуности остварени.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко металуршког факултета Универзитета у Београду, да прихвати овај Реферат и да га заједно са поднетом докторском дисертацијом кандидата **Ане Алил**, дипл. инж. металургије и металних материјала, под називом **"Структура и својства вишеслојних Al-Mg трака добијених хладним ваљањем",** 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 процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 09.02.2018.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Миљана Поповић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Технолошко металуршки факултет

.....
Проф. др Ендре Ромхањи, редовни професор у пензији,
Универзитет у Београду, Технолошко металуршки факултет

.....
Др Тамара Радетић, научни саветник,
Универзитет у Београду, Технолошко металуршки факултет

.....
Проф. др Јелена Бајат, редовни професор,
Универзитет у Београду, Технолошко металуршки факултет

.....
Др Зијах Бурзић, научни саветник,
Војно технички институт, Београд