

Факултет Технички факултет у Бору

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ ЈАСМИНА (Љубиша) ПЕТРОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму **Металуршко инжењерство**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливењаиз научне области: **Металуршко инжењерство**

Универзитет је дана 28.09.2021. својим актом под бр. 61206-3657/2-21 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења**Име и презиме ментора: Др Срба Младеновић, редовни професор, Технички факултет у Бору****Комисија за оцену докторске дисертације** именована је на седници одржаној **10.06.2022.** године одлуком факултета под бр. VI/4-35-9, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Светлана Иванов	Редовни професор	Металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
2.	Др Ивана Марковић	Ванредни професор	Металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
3.	Др Силвана Димитријевић	Виши научни сарадник	Металуршко инжењерство	Институт за рударство и металургију Бор

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности **07.07.2022.** године

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на

седници електронским изјашњавањем до 01.09.2022. године

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници електронским изјашњавањем до 01.09.2022. године

одлуком факултета под бр. VI/4-37-3b, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Светлана Иванов	Редовни професор	Металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
2.	Др Ивана Марковић	Ванредни професор	Металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
3.	Др Силвана Димитријевић	Виши научни сарадник	Металуршко инжењерство	Институт за рударство и металургију Бор

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-37-3а
Бор, 02. 09. 2022. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору, чл. 44. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору и чл. 20. став 11. Пословника о раду Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета електронским изјашњавањем до 01. 09. 2022. године, донело је

ОДЛУКУ

I Усваја се Извештај Комисије за оцену докторске дисертације кандидата **Јасмине Петровић**, дипл. инж. металургије, студента докторских академских студија студијског програма Металуршко инжењерство, под називом: „**Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења**“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана **28. септембра 2021. 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 (M23)

1. **J. Petrović**, S. Mladenović, I. Marković, S. Dimitrijević, *Characterization of hybrid aluminium composites reinforced with Al_2O_3 particles and walnut-shell ash*, *Materiali in tehnologije / Materials and technology*, 56(2) (2022), 115–122.
doi: 10.17222/mit.2022.365 (ISSN 1580-2949; IF(2020)=0,638; Material Science, Multidisciplinary, 317/333).
2. **J. Petrović**, S. Mladenović, A. Ivanović, I. Marković, S. Ivanov, *Korelisanje uticaja veličine i sadržaja ojačavajućih čestica Al_2O_3 na tvrdoću kompozita sa aluminijumskom matricom dobijenih metodom vrtložnog livenja*, *Hemijska Industrija*, 75 (4) (2021), 195-204.
doi:10.2298/HEMIND210409018P (ISSN: 0367-598X; IF(2020)=0,627; Engineering, Chemical 130/143).

IV 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.

Доставити:

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

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Нада Штрбац

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Јасмине Петровић, дипл. инж. металургије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, бр. VI/4-35-9, од 13.06.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Јасмине Петровић, дипл. инж. металургије, студента докторских академских студија на студијском програму Металуршко инжењерство, под називом „Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења“.

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

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Јасмина Петровић, дипл. инж. металургије, уписала је 2016/2017. године докторске академске студије на Техничком факултету у Бору Универзитета у Београду, на студијском програму Металуршко инжењерство.

Хронологија одобравања и израде докторске дисертације је протекла следећом динамиком:

- На седици Катедре за прерађивачку металургију, Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, одржаној 2. јула 2021. године констатовано је да је кандидаткиња Јасмина Петровић, дипл. инж. металургије, поднела пријаву

предлога теме докторске дисертације, заведене под бројем VI-1/10-121, под називом „Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења“ наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Предложена је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације у саставу:

1. др Светлана Иванов, редовни професор, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду;
2. др Ивана Марковић, ванредни професор, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду;
3. др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор.

За ментора је предложен др Срба Младеновић, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду.

- Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, број VI/4-24-7 од 12. јула 2021. године именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације „Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења“, кандидаткиње Јасмине Петровић.
- Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, број VI/4-25-15 од 16. септембра 2021. године усвојен је Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме пријављене докторске дисертације. Истом одлуком, за ментора је именован др Срба Младеновић, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду.
- Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној дана 28. септембра 2021. године, донело је одлуку број: 61206-3657/2-21, о давању сагласности на предлог теме за израду докторске дисертације кандидаткиње Јасмине Петровић.
- Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, број VI/4-35-9 од 13. јуна 2022. године именована је Комисија за оцену урађене докторске дисертације кандидаткиње Јасмине Петровић, у саставу:
 1. др Светлана Иванов, редовни професор, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду;
 2. др Ивана Марковић, ванредни професор, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду;
 3. др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор.

1.2. Научна област дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације 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 Срба Младеновић, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, на основу досад објављених радова и на основу наставног и истраживачког искуства компетентан је да руководи израдом докторске дисертације кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јасмина (Љубиша) Петровић рођена је у Пироту, 24. априла 1977. године. Основну школу и гимназију, друштвено-језички смер, завршила је у Бабушници. Године 1996. уписала је Технички факултет у Бору Универзитета у Београду, одсек Металуршки, који је завршила у јануару 2004. године, са просечном оценом 8,35 (осам и 35/100) и оценом 10 (десет) на дипломском раду, под називом „Електрохемијско понашање хладнодеформисаног бакра после високих степена деформације“. Докторске академске студије на Техничком факултету у Бору Универзитета у Београду, на студијском програму Металуршко инжењерство, уписала је школске 2016/2017. године.

Од 23. децембра 2016. године запослена је на Техничком факултету у Бору Универзитета у Београду у звању асистента за ужу научну област Прерађивачка металургија и метални материјали. Ангажована је на следећим предметима на основним академским студијама: Познавање металних материјала (2016 - 2018), Ливарство (2017 - данас) и Металургија заваривања (2017 - данас). На мастер академским студијама ангажована је од 2017. до данас на предметима: Кинетика фазних трансформација, Металургија легура обојених метала и Металургија ливеног гвожђа и челика.

Аутор је или коаутор 3 рада публикована у међународним часописима из категорије М20 (3 рада категорије М23), 1 рада публикованог у часопису националног значаја из категорије М50 (1 рад категорије М52), 8 саопштења са конференција међународног значаја из категорије М30 (6 саопштења категорије М33 и 2 саопштења категорије М34), као и 14 саопштења са конференција националног значаја из категорије М60 (6 саопштења категорије М63 и 8 саопштења категорије М64). Коаутор је помоћног универзитетског уџбеника Ливарство (Издавач: Технички факултет у Бору Универзитета у Београду, 2017, ISBN: 978-86-6305-060-0).

Била је ангажована као истраживач на 3 пројекта, од којих 1 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја и 2 код Фонда за иновациону делатност за додељивање иновационих ваучера. У свом досадашњем раду била је ангажована као члан организационих одбора 4 међународна и 1 домаћег скупа. Члан је Српског хемијског друштва.

Јасмина Петровић активно је учествовала у промоцији науке међу младима у оквиру манифестације за образовање деце на територији Републике Србије „Тимочки научни торнадо - ТНТ“ и као члан тима за промоцију Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду у средњим школама.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Предмет и циљ дисертације

Непрекидни технолошки захтеви за савременим материјалима који су јачи, лакши и економичнији условили су бројна истраживања поступака добијања нових и напредних материјала. На том пољу, све већи значај добијају композитни материјали (композити), који су постали предмет интересовања многих истраживачких група. Композити представљају смешу два или више материјала који поседују различите хемијске и физичке особине, при чему су коначна својства композита боља од својстава саставних компоненти. Посебно место у истраживању композита имају композити са металном матрицом (Metal Matrix Composite - MMC) ојачани честицама. Код ових материјала разликују се две основне саставне компоненте: метална матрица (метална основа) и ојачавајућа фаза (ојачивач). За израду MMC најчешће се користе алуминијум, титан, магнезијум, бакар и њихове легуре и суперлегуре као метална матрица, док ојачавајућу фазу углавном чине керамичке честице у облику оксида (Al_2O_3 , MgO , TiO_2), карбида (SiC , TiC , B_4C), нитрида (AlN , BN , Si_3N_4) или борида (TiB_2). Највећи удео на тржишту MMC материјала заузимају композити са алуминијумском матрицом ојачани честицама Al_2O_3 , SiC и TiB_2 , познати по скраћеници PAMC (Particulate Aluminium Matrix Composites). Додатак ових ојачивача металној основи на бази легура алуминијума обезбеђује: повећану чврстоћу, већи модул еластичности, вишу радну температуру, побољшану отпорност на хабање, смањену тежину конструкционих делова, велику електричну и топлотну проводност, мали коефицијент термичког ширења и димензиону стабилност производа у поређењу са чистим легурама. PAMC се одликују ниском ценом, изотропним особинама и могућношћу производње употребом постојећих технологија. Заступљени су у аутомобилској индустрији, ваздухопловној индустрији и индустрији наоружања. Последњих година, све већа пажња истраживача усмерена је на истраживању хибридних PAMC материјала. То су композити са побољшаном комбинацијом особина, код којих је метална основа на бази алуминијума или његових легура ојачана са две или више врста честичних ојачивача.

Предмет докторске дисертације био је испитивање особина PAMC материјала, добијених поступком вртложног ливења (Stir casting). Ова метода подразумева да се након топљења легуре у одговарајућој пећи, додавање честица ојачивача врши уз примену механичког мешања растопа. Током мешања долази до формирања вртлога, који обезбеђује уношење слабо квашљивих честица ојачивача унутар растопа и њихово хомогено дистрибуирање. Истраживања на којима је базирана ова докторска дисертација укључују експериментална испитивања класичних и хибридних алуминијумских композита са основом од EN AW 6061 легуре. Класични алуминијумски композити ојачани су честицама Al_2O_3 , различите величине (50 μm , 80 μm и 110 μm) и масеног садржаја (2 mas.%, 5 mas.% и 8 mas.%). За израду хибридних алуминијумских композита, као примарни ојачивач коришћене су честице Al_2O_3 , исте величине и масеног садржаја као и код класичних композита, а секундарни ојачивач био је пепео љуске ораха, различитог масеног садржаја (1%, 2% и 3%).

Прегледом литературе, запажено је да хибридни композити поседују унапређене особине, чиме се значајно шири њихова примена. Такође је установљено да су

истраживања ових материјала у нашем ширем окружењу веома ретка. С обзиром на потенцијал са којим наша земља располаже, а везује се за присуство велике количине разноврсног органског отпада, истраживања спроведена у овој докторској дисертацији усмерена су у том правцу.

Главни циљеви истраживања ове докторске дисертације су:

- Развој апаратуре за извођење процеса вртложног ливења у лабораторијским условима;
- Дефинисање оптималних вредности свих утицајних параметара на процес вртложног ливења приликом добијања композитних материјала са униформном расподелом ојачавајућих честица;
- Испитивање могућности добијања композита са металном основом од легуре EN AW-6061 уз додатак ојачавајућег материјала у облику честица Al_2O_3 , као и хибридних композита уз додатак честица Al_2O_3 и пепела љуске ораха поступком вртложног ливења,
- Постизање униформног распореда честица ојачавајуће фазе (Al_2O_3 и пепела љуске ораха) по читавој запремини композитних материјала применом вртложног ливења, коришћењем оптималне комбинације главних утицајних параметара;
- Структурна, механичка, физичка и хемијска карактеризација класичних композита са EN AW 6061 металном основом и ојачавајућим материјалом у облику честица Al_2O_3 и хибридних композита са EN AW 6061 металном основом и ојачавајућим материјалима у облику честица Al_2O_3 и честица пепела љуске ораха;
- Упоређивање особина класичних и хибридних композита са особинама легуре EN AW 6061, као и међусобно упоређивање особина добијених композита;
- Промовисање припреме и реализације експеримента у научно истраживачком раду у складу са правилима планираног експеримента;
- Развој математичких модела (метода одзивне површине) и тренирање вештачких неуронских мрежа ради могућег предвиђања особина класичних и хибридних композита у испитиваном опсегу утицајних фактора.

2.2. Основне хипотезе од којих се полазило у истраживању

Полазне хипотезе којима је дефинисан предмет истраживања докторске дисертације, а које су произашле из анализе прикупљене литературе, постављене су на основу реалних потреба металуршке праксе, да се постојећи материјали замене новим, лакшим материјалима са побољшаним механичким и физичко-хемијским особинама, а према захтевима и потребама модерних технологија.

Основне хипотезе у изради докторске дисертације биле су:

- Уз мале модификације апаратуре, могуће је применити конвенционалне технике ливења за израду РАМС материјала;

- Применом конкретних параметара вртложног ливења (брзина и време мешања, облик мешача, температура топљења и изливања) могуће је добити хибридне комозите на бази алуминијумских легура са хомогеном дистрибуцијом ојачавајућих честица Al_2O_3 и пепела љуске ораха;
- Додатак органских ојачавајућих честица у комбинацији са честицама Al_2O_3 , при дефинисаном садржају и при одређеној величини ојачавајућих честица, утицаће на значајно унапређење механичких и физичко-хемијских карактеристика израђених РАМС материјала;
- Формираће се нови микроконституенти на рачун реакција саставних компоненти, пепела љуске ораха са легирајућим елементима и честицама Al_2O_3 ;
- Методама математичког моделовања, метода одзивне површине као и вештачке неуронске мреже, кроз развијање адекватних модела, могуће је предвидети механичке особине класичних и хибридних композита у оквиру дефинисаних интервала улазних фактора (величина и масени садржај ојачавајућих честица Al_2O_3 и пепела љуске ораха).

На основу спроведеног истраживања и добијених резултата могуће је извести следеће закључке:

- На основу сумарних резултата установљено је да је могуће синтетизовати класичне и хибридне композитне материјале поступком вртложног ливења.
- Извршена модификација постојеће апаратуре и примењено механичко мешање условило је униформну расподелу ојачавајућих честица, што представља основни услов за повећање, пре свега, механичких особина.
- Механичке особине повећане су код свих испитиваних композитних материјала у односу на неојчану полазну легуру. Пораст механичких особина је интензивнији са повећањем садржаја и смањењем величине честица ојачивача.
- Физичке и електрохемијске особине класичних и хибридних композита показују благи пад са порастом садржаја ојачивача, али су вредности ових особина и даље остале на задовољавајућем нивоу.
- Микроструктурним испитивањима утврђено је да није дошло до формирања нових микроконституената између саставних компоненти пепела љуске ораха са легирајућим елементима и честицама Al_2O_3 .
- Методе математичког моделовања показале су могућност предвиђања механичких особина у испитиваном интервалу утицајних фактора са великом тачношћу.

2.3. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Јасмине Петровић под називом „Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења“ написана је на 140 страна, у оквиру којих се налази 13 поглавља, са укупно 90 слика, 50 табела и 194 литератurna навода.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

- Увод,
- Теоријске поставке,
- Поступци добијања честичних композита,
- Основе планираног експеримента,
- Преглед досадашњих истраживања,
- Уређаји и методе коришћени за испитивања,
- Циљеви истраживања,
- Експериментални део,
- Резултати и дискусија,
- Закључак,
- Литература,
- Биографија и
- Објављени радови проистекли из докторске дисертације.

На почетку дисертације су дати подаци о ментору и члановима комисије, изводи на српском и енглеском језику, а на крају дисертације прилози, који су пратећи елементи дисертације (Обрасци 5, 6 и 7 из Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору).

По својој форми, садржају и добијеним резултатима ова докторска дисертација задовољава све критеријуме и стандарде Универзитета у Београду.

2.3.1. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу (*Увод*) указано је на важност изучавања композитних материјала, као и кратак осврт на велику потражњу у индустрији за овим материјалима, који због својих особина, последњих деценија, све више мењају металне материјале. Посебно је истакнута важност алуминијума и његових легура у овом домену, као и најзначајнији ојачивачи који се користе у производњи алуминијумских композита. Предност ових материјала над челиком огледа се у мањој потрошњи енергије приликом њихове производње и мањем загађивању животне средине.

У другом поглављу (*Теоријске поставке*) изнете су основне напомене о композитним материјалима, извршена је њихова класификација према врсти матрице и типу ојачивача. Посебно је истакнут значај композита са металном матрицом, са освртом на композите са алуминијумском матрицом. У оквиру композита са алуминијумском матрицом, обрађени су хибридни алуминијумски композити који су и предмет истраживања у дисертацији. У овом поглављу обрађени су и материјали за ојачавање. Такође су обрађени услови квашљивости и механизми ојачавања.

Треће поглавље (*Поступци добијања честичних композита*) описује поступке производње честичних композита, међу којима су издвојени производња композита у чврстом стању, производња композита у течном стању и производња композита у получврстом стању. Пажња је фокусирана на производњу композита у течном стању поступком вртложног ливења, као и на проблеме који се јављају том приликом.

С обзиром да је један део дисертације посвећен примени метода математичког моделовања за предвиђање механичких особина проучаваних композитних материјала,

у четвртом поглављу (*Основе планираног експеримента*) представене су теоријске основе планираног експеримента и оно је обрађено кроз четири подпоглавља: (1) Дизајн експеримента, (2) Теоријске основе коришћених метода, (3) Метода одзивне површине и (4) Вештачке неуронске мреже.

У петом поглављу (*Преглед досадашњих истраживања*) представљени су постојећи публиковани резултати о композитним материјалима. Сагледана су истраживања о предностима, недостацима и проблемима поступака добијања композитних материјала, механичким, физичким и хемијским особинама алуминијумских композита и дат је преглед досадашњих истраживања о утицају различитих фактора на особине композита. Најпре су обрађене варијанте поступка вртложног ливења и различити утицајни фактори процеса, као што су: време и брзина мешања, облик мешача, температура ливења, облик, величина и садржај ојачавајућих честица. Недостаци који се јављају на одливцима добијеним овим производним процесом су порозност, агломерација честица и појава оксидних укључака. Иако је ова тема доста изучавана, још увек постоје недоумице које отварају простор за даља истраживања. Посебна пажња у прегледу литературе посвећена је истраживању утицаја величине и садржаја ојачивајућих честица, с обзиром да су се ови фактори издвојили као најутицајнији на особине композитних материјала. Заједнички закључак већине радова био је да повећање садржаја и смањење величине честица доприноси расту механичких особина композита. У следећем делу прегледа обрађени су хибридни композити, који поред керамичких садрже и органске ојачиваче, њихове особине и значај. Последњи део прегледа односи се на композитне материјале са основом од алуминијумске легуре EN AW 6061, с обзиром да се ова легура налази у основи композитних материјала који су испитивани у овој докторској дисертацији. Анализиран је утицај различитих ојачавајућих честица, њихова величина и садржај на особине композита. Установљено је да не постоје подаци о употреби пепела љуске ораха као ојачивача у производњи композитних материјала. Овај материјал је интересантан због значајних количина које се могу наћи и на овим нашим просторима. Из тог разлога, синтетисани су класични и хибридни композити и извршено је међусобно поређење њихових особина, као и поређење њихових особина са легуром матрице.

У шестом поглављу (*Уређаји и методе коришћени за испитивања*) представљени су и описани сви уређаји и методе које су коришћене приликом израде ове докторске дисертације.

У седмом поглављу (*Циљеви истраживања*) детаљно су изложени циљеви којима се тежило у току истраживања.

У експерименталном делу, датом у осмом поглављу, детаљно је приказан:

- Поступак добијања класичних алуминијумских композитних материјала поступком вртложног ливења, који се састојао од топљења легуре матрице, увођења ојачавајућих честица Al_2O_3 у растоп применом механичког мешања уз одабране параметре процеса и изливања овако добијеног композитног материјала у калуп до очвршћавања и формирања одливака.
- Поступак добијања хибридних алуминијумских композитних материјала поступком вртложног ливења, који се разликује од претходног у додавању пепела

љуске ораха као секундарног ојачивача. Пепоо је додаван после додавања честица Al_2O_3 на исти начин помоћу алата са дозером.

- Од добијених одливака истих димензија $200\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ машинском обрадом добијени су узорци за даља испитивања. Укупно је направљено 37 одливака, од тога 1 одливак од легуре основе EN AW 6061, 9 одливака су били класични композити и 27 одливака су били хибридни композити.
- Карактеризација узорака од легуре матрице, класичних и хибридних композитних материјала извршена је путем мерења тврдоће, микротврдоће, затезне чврстоће, издужења, електричне проводности, микроструктурне анализе: оптичким, SEM микроскопом и EDS анализом, електрохемијским и корозионим испитивањима (применом потенцијала отвореног кола, методом Тафелове екстраполације и линеарног поларизационог отпора).

У деветом поглављу (*Резултати и дискусија*) представљени су резултати испитивања из оквира предметне дисертације, као и дискусија добијених резултата. Анализиране су структурне, механичке и физичко-хемијске особине са циљем проучавања утицаја величине и садржаја ојачавајућих честица. На добијеним узорцима од матричне легуре EN AW 6061, класичних и хибридних композита најпре су испитиване микроструктурне особине. Посматран је распоред ојачавајућих честица, јер је један од основних захтева за побољшање особина управо њихова униформна расподела. Такође је посматрана промена величине кристалних зрна са повећањем садржаја ојачавајућих честица. У оквиру микроструктурних испитивања, урађена је и EDS анализа на одабраним узорцима, а у циљу одређивања хемијског састава и постојања нових фаза. Иза тога спроведена су механичка испитивања у оквиру којих су одређиване вредности тврдоће, микротврдоће, затезне чврстоће и издужења. Циљ ових мерења био је да се утврди промена механичких особина са променом величине честице и садржаја ојачивача. Дошло се до закључка да све испитиване механичке особине, осим издужења, расту са порастом садржаја и смањењем величине честица ојачивача. У циљу добијања свеобухватније слике о алуминијумским композитним материјалима добијеним поступком вртложног ливења и њихове примене у пракси, разматрани су резултати добијени мерењем електричне проводности, као и електрохемијским и корозионим испитивањима. Када су у питању електрохемијска и корозиона испитивања, спроведена су само иницијална истраживања корозионог понашања на одабраним узорцима. Ова почетна сазнања представљају полазну основу за даља изучавања. У оквиру овог поглавља представљена је и статистичка обрада резултата механичких особина применом методе одзивне површине и вештачке неуронске мреже.

У десетом 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 194 релевантна референтна извора.

Десето поглавље (*Биографија*) односи се на биографију кандидата.

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

Континуирани технолошки прогрес изискује побољшање особина постојећих материјала или добијање нових, напредних материјала. Од ових материјала, поред изузетних механичких особина, захтева се висока електрична и топлотна проводност, као и добра отпорност на корозију. Алуминијум и његове легуре испуњавају велики број ових захтева у погледу особина, али им је главни недостатак нешто лошије механичке особине и мала отпорност према хабању, што представља проблем за делове који раде у интензивним условима експлоатације. Особине алуминијума и његових легура знатно се могу побољшати производњом честичних композита, при чему се добијају материјали са атрактивном комбинацијом особина. 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, структурних и корозионих особина хибридних алуминијумских композита данас веома актуелна. Сам процес производње композитних материјала поступком вртложног ливења, веома је сложен и има велики број утицајних фактора који одређују коначне особине добијених материјала. Ова чињеница може се посматрати као предност у производњи, јер омогућава да се променом одређених параметара, креирају тачно захтеване особине коначних производа. Променом параметара производног процеса утиче се на микроструктурне промене, а самим тим и на побољшање својстава материјала. Поступак вртложног ливења издвојио се у научним круговима због своје једноставности и економичности, па је због тога најинтересантнији за истраживање и одређивање комбинације утицајних параметара која даје најбоље особине композиту. Иако је ова тема доста истраживана, још увек постоје непознанице које треба решавати како би се употпунила знања о овим материјалима. Утицај пепела љуске ораха као секундарног ојачивача у хибридним композитима до сада није проучаван, а на нашим просторима, генерално, органски ојачивачи нису заступљени у истраживањима. Како наша земља располаже значајним количинама неискоришћеног агро отпада, истраживања у овом правцу су врло корисна.

Управо ови разлози, утицали су на избор теме и предмета изучавања ове докторске дисертације, а која се бави истраживањем класичних и хибридних композитних материјала добијених поступком вртложног ливења. Задатак дисертације био је проучавање утицаја садржаја и величине ојачавајућих честица на особине испитиваних композита. Посматран је њихов утицај на механичке особине (тврдоћа, микротврдоћа, затезна чврстоћа и издужење), електричну проводност, електрохемијско и корозионо понашање, као и на структурне промене на микро нивоу које се дешавају са променом утицајних параметара. Са повећањем садржаја и смањењем величине честица, дошло је до значајног повећања механичких особина свих произведених композита у односу на легуру матрице.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У литературном прегледу докторске дисертације цитирано је 194 литературна навода, од којих највећи број чине радови новијег датума и налазе се у међународним часописима. Сви радови баве се 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 адекватно 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 матричне легуре EN AW-6061, класичних и хибридних алуминијумских композита добијених поступком вртложног ливења коришћено је више савремених, стандардизованих, високо резолутивних метода и аналитичких техника.

За одређивање хемијског састава полазних компоненти коришћене су рендгено-флуоресцентна (XRF) и рендгено-дифракциона (XRD) анализа. У ту сврху коришћени су спектрофотометар „Niton XL3t“ и XRD инструмент „RigakuMiniFlex 600“ са „D/teXUltra 250“ детектором високе брзине и рендгенском цеви са бакарном анодом (под следећим условима: радни напон 40 kV; јачина струје 30 mA; опсег испитивања од 3° до 90°; корак 0,02°; брзина снимања 10°/min).

Испитивања механичких карактеристика обухватила су мерења тврдоће, микротврдоће, затезне чврстоће и издужења применом стандардизованих метода. Тврдоћа је мерена применом Викерсове методе на тврдомеру „VEB Leipzig“ при оптерећењу од 98 N и времену трајања оптерећења од 10 s, док је микротврдоћа одређена на тврдомеру „ПМТ 3“ применом Викерсове методе, при оптерећењу од 0,5 N и трајању оптерећења од 10 s. Испитивања затезањем (затезна чврстоћа и издужење) урађена су на кидалици „Shimandžu“. Примењена брзина оптерећења била је 100 mm/min.

Физичке особине праћене су 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.

Микроструктурна анализа је обављена применом оптичке микроскопије (ОМ) и скенирајуће електронске микроскопије са енергетско-дисперзивним спектрометром (SEM-EDS). За оптичку микроскопију је коришћен „Leica DM 2700M“ оптички микроскоп за увећања од 50 до 1000 пута. SEM анализа је извршена на скенирајућем електронском микроскопу „Jeol JSM IT 300LV“, који користи W жицу као извор електрона и поседује SE, BSE и EDS детекторе. Припрема узорака за металографска испитивања вршена је на уређају за електролитичко полирање и нагризање „Metkon ELOPREP 102“.

Електрохемијска карактеризација на одабраним узорцима матричне легуре EN AW 6061, класичних и хибридних алуминијумских композита добијених поступком вртложног ливења испитивана је применом методе мерења потенцијала отвореног кола, методе Тафелове екстраполације и методе линеарног поларизационог отпора. За извођење електрохемијских експеримената коришћена је апаратура која садржи потенциостат, галваностат, равнотежни амперметар компаније Gamry Instruments Inc. и Corrrosion модул софтверски пакет Gamry Framework. За анализу резултата и одређивање корозионих параметара коришћен је софтвер Gamry Echem Analyst.

Мерење потенцијала отвореног кола је извршено у раствору сумпорне киселине (H_2SO_4) концентрације $0,01 \text{ mol/dm}^3$ у трајању од 60 s. Линеарни поларизациони отпор је мерен на потенцијалима $\pm 20 \text{ mV}$ у односу на потенцијал отвореног кола при брзини промене потенцијала од $0,1667 \text{ mV/s}$. Тафелове поларизационе криве мерене су на потенцијалима $\pm 200 \text{ mV}$ у односу на потенцијал отвореног кола при брзини промене потенцијала од $0,5 \text{ mV/s}$.

Методама математичког моделовања (метода одзивне површине и вештачке неуронске мреже), кроз развој адекватних модела, извршено је предвиђање механичких особина израђених композита у оквиру дефинисаних интервала улазних фактора (величина и масени садржај ојачавајућих честица Al_2O_3 и пепела љуске ораха). За развој математичких модела коришћен је пуни факторни план експеримента 3^2 и 3^3 , као и вишеструка регресиона анализа. Статистичка обрада резултата механичких испитивања извршена је применом пограмског пакета SPSS Statistics (SPSS v. 17) и софтвера GNU Octave. Одређивање утицаја улазних променљивих и њихових интеракција на одзив система и провера адекватности добијених математичких модела, вршена је применом анализе варијансе (Analysis of variance - ANOVA). Различите комбинације улазних фактора и њихових вредности омогућиле су предвиђање одзива система. Анализирани су коришћени модели и тачност њиховог предвиђања, а извршена је и верификација креираних модела.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у овој докторској дисертацији указују да је могуће успешно синтетизовати класичне и хибридне алуминијумске композите поступком вртложног ливења. Том приликом добијају се композитни материјали побољшаних својстава. Овако добијени композити могу наћи практичну примену у свим областима, где су потребне боље механичке особине материјала, задовољавајућа електрична проводност и отпорност према корозији. Основна примена испитиваних композита је у ауто и авио индустрији, мада се могу наћи примене и у електроиндустрији. Захваљујући ефекту ојачавања уношењем ојачавајућих честица у легуру матрице, постигнуте побољшане особине се задржавају и на повишеним радним температурама дужи временски период. У експерименталном делу дисертације је детаљно описан поступак добијања композитних материјала поступком вртложног ливења, што даје могућност понављања истоветних експеримената и њихову непосредну верификацију.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, њихово тумачење, као и проистекли и објављени научни радови указују на способност кандидаткиње Јасмине Петровић, дипл. инж. металургије за самостални научни рад као и за активно учешће у тимском раду.

Јасмина Петровић је током израде докторске дисертације испољила самосталност и стручност у претраживању савремене литературе, планирању истраживања, осмишљавању, припреми и реализацији истраживања, као и прикупљању, систематизацији и анализи добијених резултата.

На основу испољеног квалитета, заинтересованости и стручности у обављању досадашњих научних и стручних активности, Комисија сматра да кандидаткиња Јасмина Петровић поседује све квалитете који су неопходни за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација под називом „Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења“ представља оригиналан и савремен рад чији се значајан научни допринос пре свега огледа у истраживању утицаја пепела љуске ораха на особине хибридних алуминијумских композита. Прегледом доступне литературе није пронађено да су истраживачи, који су се бавили овом темом, проучавали утицај овог агро отпада на особине композита, што је веома значајно у економском и еколошком смислу. Такође, изучавање хибридних композита у нашој земљи је у литератури веома мало заступљено, а наводи о изучавању органског отпада као секундарне ојачавајуће фазе скоро и да не постоје. Због тога истраживања, изнета у овој докторској дисертацији, представљају значајан научни допринос, који се огледа у:

- Добијању каласичних и хибридних алуминијумских композита знатно побољшаних механичких и задовољавајућих физичких и електрохемијских особина у односу на легуру матрице, које су постигнуте на рачун додавања ојачавајућих честица различитог садржаја и величине;
- Упоређењу постигнутих особина између класичних и хибридних алуминијумских композита, са циљем извођења закључка о утицају секундарног ојачивача тј. пепела љуске ораха;
- Одређивању утицаја промене садржаја и величине ојачавајућих честица на особине испитиваних композита;
- Одређивању микроструктурних промена композитних материјала добијених у поступку вртложног ливења са променом садржаја и величине ојачавајућих честица;

- Објашњењу структурних промена применом савремених метода испитивања помоћу оптичке микроскопије и скенирајуће електронске микроскопије са енергетско-дисперзивном спектрометријом.
- Експерименталном добијању података о механичким и физичким својствима проучаваних композитних материјала;
- Проучавању корозионе постојаности алуминијумске основе, класичних и хибридних алуминијумских композита;
- Развоју математичких модела методама математичког моделовања за предвиђање вредности механичких особина класичних и хибридних алуминијумских композита у функцији величине и масеног садржаја ојачавајућих честица Al_2O_3 и пепела љуске ораха.
- Проширењу области примене синтетизованих хибридних алуминијумских композита на рачун постигнутих знатно побољшаних механичких особина;

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове дисертације су конципирана након детаљне анализе литературе из области хибридних алуминијумских композита. На основу прегледа доступне литературе утврђено је да није проучаван утицај пепела љуске ораха као секундарног ојачивача на особине композита. Због тога, резултати приказани у овој докторској дисертацији значајно допуњују постојећа знања о понашању хибридних композита који у свом саставу имају пепео овог агро отпада. Научни допринос огледа се у извршеном упоредном истраживању на класичним и хибридним алуминијумским композитима.

Постављени циљеви и задаци истраживања у докторској дисертацији, остварени су у потпуности. Добијени резултати експерименталног истраживања у оквиру дисертације у многоме су дали нове корисне информације о хибридним алуминијумским композитима добијеним поступком вртложног ливења. Ово истраживање се сматра значајним због остварених резултата који ће допринети проширењу и надоградњи постојеће базе сазнања у оквиру проучаване области.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација ове докторске дисертације је у складу са законским одредбама у Републици Србији и критеријумима Универзитета у Београду међу којима се предвиђа и објављивање најмање једног рада који је тематски повезан са дисертацијом у међународном часопису са SCI листе, на коме је кандидат првопотписани аутор. Кандидат Јасмина Петровић је, до тренутка предавања дисертације за оцену, објавила 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, с обзиром да је у припреми још радова за објављивање у међународним часописима. У даљем тексту је дат списак до сада објављених радова, који су проистекли из ове докторске дисертације:

Категорија М23 (Рад у међународном часопису):

1. **J. Petrović**, S. Mladenović, I. Marković, S. Dimitrijević, *Characterization of hybrid aluminium composites reinforced with Al_2O_3 particles and walnut-shell ash*, *Materials in tehnologije / Materials and technology*, 56(2) (2022), 115–122.
doi: 10.17222/mit.2022.365 (ISSN 1580-2949; IF(2020)=0,638; Material Science, Multidisciplinary, 317/333).
2. **J. Petrović**, S. Mladenović, A. Ivanović, I. Marković, S. Ivanov, *Korelisanje uticaja veličine i sadržaja ojačavajućih čestica Al_2O_3 na tvrdoću kompozita sa aluminijumskom matricom dobijenih metodom vrtložnog livenja*, *Hemijska Industrija*, 75 (4) (2021), 195-204.
doi:10.2298/HEMIND210409018P (ISSN: 0367-598X; IF(2020)=0,627; Engineering, Chemical 130/143).

Категорија М33 (Саопштење са међународног скупа штампано у целини):

1. **J. Petrović**, M. Nedeljković, I. Marković, S. Mladenović, *A challenges of using the Stir Casting method for composite production – review*, *Proceedings of 51th International October Conference on Mining and Metallurgy*, Bor Lake, Serbia, 2019, pp. 109-112.

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

1. **J. Petrović**, S. Mladenović, *Review of the most important properties of MMC-s reinforced with Al_2O_3 and SiC*, *Book of abstracts of 5rd International Student Conference on Technical Sciences*, Bor, Serbia, 2018, pp. 13.

Категорија М63 (Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини):

1. **J. Petrović**, M. Nedeljković, S. Mladenović, *Kompoziti kao imperativ savremenih tehnologija*, *Zbornik radova sa međunarodnog skupa Inovacije kao pokretač razvoja*, Beograd, Srbija, 2020, pp. 225-231.

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

1. **J. Petrović**, S. Mladenović, I. Marković, U. Stamenković, M. Nedeljković, M. Mitrović, *Hardness and distribution of reinforcing particles of aluminum composites obtained by stir casting method*, *Zbornik izvoda radova sa 10. simpozijuma o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem*, Kosovska Mitrovica, Srbija, 2021, pp. 35-36.

Испитивања обухваћена предметном докторском дисертацијом представљају део истраживања у оквиру пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: TR34003 (2017-2019), 451-03-68/2020-14/200131 (2020), 451-03-9/2021-14/200131 (2021), 451-03-68/2022-14/200131 (2022).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега напред изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација кандидаткиње Јасмине Петровић, дипл. инж. металургије, садржи бројне оригиналне резултате и представља значајан научни допринос у области Металуршког инжењерства. Представљени резултати омогућавају надоградњу постојећих сазнања садржаних у коришћеним литературним изворима. Резултати који представљају оригиналност ове дисертације односе се на сагледавање утицаја пепела љуске ораха као секундарне ојачавајуће фазе, као и величине и садржаја ојачавајућих честица на особине композитних материјала. Примењене математичке методе моделирања са великом тачношћу предвиђају механичке особине у испитиваном интервалу утицајних фактора, при чему у значајној мери доприносе уштеди ресурса, времена и новца.

Сагледавајући квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата овог рада, Комисија за оцену докторске дисертације закључује да кандидат Јасмина Петровић, дипл. инж. металургије испуњава све законске и остале услове за одбрану урађене докторске дисертације. Комисија закључује да је ова докторска дисертација написана према свим стандардима научно-истраживачког рада, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Правилником о докторским студијама које је прописао Универзитет у Београду и Технички факултет у Бору. Имајући у виду предочене чињенице, Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду да прихвати позитиван извештај о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Јасмине Петровић под називом: „Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења“ и да исти изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да после тога кандидаткињу позове на јавну одбрану.

У Бору, 6. јул 2022.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник,
Институт за рударство и металургију Бор

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-37-36
Бор, 02. 09. 2022. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору, чл. 45. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору и чл. 20. став 11. Пословника о раду Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета електронским изјашњавањем до 01. 09. 2022. године, донело је

О Д Л У К У

I Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације кандидата **Јасмине Петровић**, дипл. инж. металургије, студента докторских академских студија студијског програма Металуршко инжењерство, под називом: **„Структурне, механичке и физичко-хемијске карактеристике хибридног композита са EN AW 6061 металном матрицом добијеног поступком вртоложног ливења“**, у саставу:

1. др Светлана Иванов, редовни професор, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору;
2. др Ивана Марковић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору;
3. др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор;

II 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.

Доставити:

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

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Нада Штрбац