

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

1408/4

(Број захтева)

12.07.2018. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

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

АЛЕКСАНДРА (МИЛОРАД) МАСЛАРЕВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **АЛЕКСАНДАР (МИЛОРАД) МАСЛАРЕВИЋ** уписан на Докторске студије 2012. год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Подноше је захтев за израду докторске дисертације:

САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА И ЊИХОВА ПОТЕНЦИЈАЛНА ПРИМЕНА НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА

Универзитет је дана 02.07.2016. год. својим актом под бр. 61206-3362/2-16 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА И ЊИХОВА ПОТЕНЦИЈАЛНА ПРИМЕНА НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **АЛЕКСАНДРА (МИЛОРАД) МАСЛАРЕВИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 14.06.2018. године, одлуком факултета под бр. 1408/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Гордана Бакић</u>	Ванр. проф.	Технологија материјала- Машински мат. и заваривање и сродни поступци	Машински факултет Београд
2. <u>Др Милош Ђукић</u>	Ванр. проф.	Технологија материјала- Машински мат. и заваривање и сродни поступци	Машински факултет Београд
3. <u>Др Александар Седмак</u>	Ред. проф.	Технологија мат.- Маш.мат. и заваривање	Машински факултет Београд
4. <u>Др Радивоје Митровић</u>	Ред. проф.	Опште машинске конструкције	Машински факултет Београд
5. <u>Др Весна Максимовић</u>	Научни саветник	Наука о материјалима	ИНН Винча Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 12.07.2018. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф.др Радивоје Митровић

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
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1408/4
Датум: 12.07.2018. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Гордана Бакић, ванр. проф., ментор, др Милош Ђукић, ванр. проф., др Александар Седмак, ред. проф., др Радивоје Митровић, ред. проф. и др Весна Максимовић, научни саветник, ИНН Винча Београд о оцени докторске дисертације „Савремене технологије наношења превлака и њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима“ студента докторских студија **Александра Масларевића, маг. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 12.07.2018. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА И ЊИХОВА ПОТЕНЦИЈАЛНА ПРИМЕНА НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА“** студента **АЛЕКСАНДРА МАСЛАРЕВИЋА, маг. инж. маш.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, студенту, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Машински факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ	
-АРХИВА-	
Број:	1408/3
Датум:	09 JUL 2018
Краљице Марије 16, 11120 Београд 35	

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
Александра Масларевића, студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду, бр. 1408/2 од 14.06.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Александра Масларевића** под насловом

Савремене технологије наношења превлака и њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Александар Масларевић је уписан на Докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду, школске 2012/2013 године и по програму ових студија, током прва четири семестра положио је све испите са одличним успехом. Од маја 2013. запослен је у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду и финансиран са пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије "Истраживање могућности унапређења технологије заваривања микролегираних челика" – ТР 35024 под руководством проф. др Радице Прокић Цветковић.

Од школске 2016/2017 године ангажован је у настави на Машинском факултету Универзитета у Београду у одржавању вежби из предмета Машински материјали 1 и 2, као студент докторских студија.

Кандидат Александар Масларевић је пре уписа на докторске студије радио у фирми „Месер Техногас А.Д.“ у одсеку Кастолин радионица, као инжењер репаратуре, а од почетка рада у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду укључен је у пројекте сарадње са привредом (преко 15 пројеката), од којих је највећи број везан за решавање проблема у раду термоенергетских постројења. Досадашњи развојни и истраживачки рад кандидата је био база за дефинисање теме и садржине докторске дисертације. Александар Масларевић је урадио и одбранио Пројекат идеје дисертације 30.03.2016. године из кога је дефинисана тема дисертације.

Израда дисертације под насловом "Савремене технологије наношења превлака и

њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима” одобрена је одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, број 61206-3362/2-16 од 02.07.2016. године. Докторску дисертацију кандидат је завршио у предвиђеном шестогодишњем периоду трајања докторских студија.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Александра Масларевића под насловом “Савремене технологије наношења превлака и њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима” припада области техничких наука – машинство, Машински материјали и заваривање и сродни поступци, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Докторска дисертације обрађује питања савремених техника наношења превлака као што је плазма наваривање и метализација великим брзинама у струји продуката сагоревања. Такође, у раду су испитане савремене врсте превлака које би могле да имају потенцијалну примену на термоенергетским постројењима, посебно у екстремним условима рада са домаћим угљевима и њиховим продуктима сагоревања.

У раду је извршена обимна карактеризација и одређена су различита својства превлака, као што су микроструктурна и различита механичка својства, и њихово понашање у експериментално симулираним условима рада. За ментора је именована др Гордана Бакић ван.проф. која је компетентна у области Машински материјали и заваривање и сродни поступци, као и у области понашања материјала у експлоатацији, посебно понашања компоненти термоенергетских постројења. Додатно примењене методе и испитивања покривене су компетенцијама осталих чланова Комисије.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Александар М. Масларевић рођен је 16.09.1986. у Ивањици. Основну школу је завршио у селу Војка, Стара Пазова, где је потом уписао средњу техничку школу, у Старој Пазови, коју је завршио са одличним успехом 2005. године на смеру „Машински техничар за компјутерско конструисање“. Године 2006. уписује Машински факултет, Универзитета у Београду, где је Основне академске студије, као стипендиста „Месер Техногас А.Д.“, завршио 2009. год. са просечном оценом 8,53 (осам и 53/100), и стекао звање инжењер машинства трогодишњих студија (скраћено инж.маш - 3 год.- B.Sc.). Исте године наставља студије на програму Мастер академских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, на модулу Заваривање и заварене конструкције. Дипломске академске студије је завршио 2011. год. са просечном оценом 9,29 (девет и 29/100). Одбраном Мастер рада под називом „Анализа радне способности и репаратура вратила турбине“ стекао је звање мастера инжењера машинства (маст.инж.маш. - M.Sc.) марта 2011. год.

Још у току студирања, после 2. семестра Мастер студија, почиње да ради у фирми „Месер Техногас А.Д.“ у одсеку Кастолин радионица, као инжењер репаратуре. По завршетку Мастер студија добија стално запослење у истој фирми и активно учествује у планирању и реализацији пројеката репаратуре компоненти термоенергетских и хидроенергетских постројења, фабрика за прозводњу цемента, итд. Током рада успешно је овладао конвенционалним и специјалним поступцима заваривања, као и

различитим поступцима металizације (гасно пламени поступак, електролучни поступак, HVOF, итд). Током рада у фирми „Месер Техногас А.Д.“ активно је учествовао као један од предавача на семинарима професорима практичне наставе средњих техничких школа на смеру „Машински техничар за репаратуру“. Семинари су одржавани под покровитељством Министарства просвете, науке и технолошког развоја, у организацији „Месер Техногас А.Д.“ који је покренуо иницијативу за оснивање смера у средњим школама, и који је из статуса огледног смера постао редовни смер у више техничких школа у Србији.

На Машинском факултету Универзитета у Београду уписује се школске 2012/2013 године на Докторске академске студије машинског инжењерства. Испите на докторским студијама је са успехом завршио са просечном оценом 9,86 (девет и 86/100).

Од 01.05.2013. године запослен је као сарадник у Иновационом центру Машинског факултета (ИЦМФ), Универзитета у Београду и финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије као студент докторских студија, учешћем на пројекту под називом „Истраживање могућности унапређења технологије заваривања микролегираних челика“ (пројекат ТР 35024). Од запослења у ИЦМФ активно је ангажован на пројектима сарадње са привредом, пре свега на пословима одређивања стања и могућности заштите компоненти термоенергетских постројења од различитих радних утицаја.

Кандидат се активно служи и користи различите софтверске пакете: AutoCad, ProDesktop, ProEngineer, SolidWorks, CorelDRAW, Origin, итд. Активно говори, пише и чита енглески језик.

Кандидат је са успехом завршио све предвиђене обавезе дате у оквиру плана истраживања на докторским студијама, које су се састојале од обавезних и изборних предмета, лабораторијских истраживања и публикација и стекао услов за пријаву Докторске дисертације под радним насловом „Савремене технологије наношења превлака и њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима“.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „Савремене технологије наношења превлака и њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима“ је обима 194 странице, са 109 слика и 31 табелом. Конципирана је тако да обради најчешће проблеме компоненти термоенергетских постројења које су изложене екстремним условима рада, услед ерозије честицама које се крећу великим брзинама и наструјавају компоненте под релативно малим угловима. Основна идеја је дефинисање могућих заштитних превлака које имају највећу отпорност за ове услове рада и објашњење које то особине превлака и савремене технике наношења дају најповољније резултате. Као пример за илустрацију, развој и истраживање изабране су различите савремене превлаке из групе метал-керамичких композита, високо легираних легура железа, као и једна керамика из групе МАХ фаза. У оквиру дисертације наменски је прављена апаратуру која симулира екстремне услове ерозије, на којој су испитани израђени узорци метал-керамичких

композита и високо легираних легура железа. За све превлаке је извршена детаљна карактеризација.

Дисертација је подељена у 5 поглавља: Увод, Теоријске основе, Поставке експеримента, Резултати испитивања и дискусија и Закључак, с тим што је експериментални део подељен у три целине.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод обухвата приказ основних циљева и садржаја предвиђених истраживања. Полази се од општих научних циљева да се унапреде постојећа знања кроз експериментална истраживања у области превлака нових генерација и њихове примене за заштиту компоненти термоенергетских постројења. У уводном делу су истакнути проблеми у раду компоненти термоенергетских постројења које су изложене екстремним условима рада услед ерозије честицама које се крећу великим брзинама и наструјавају компоненте под релативно малим угловима. Разматране су постојеће мере које се спроводе, како заштитом тако и мерама одржавања, и истакнуто је у ком правцу је могуће постићи побољшање. У овом делу је дефинисан и начин испитивања којим би се симулирали оштри услови рада ових компоненти, јер о понашању материјала у оштрим условима рада не постоји довољан број релевантних података у литератури. Такође, у уводу је наведена потенцијална могућност примене МАХ фазе као превлаке.

Теоријске основе

У поглављу Теоријске основе дат је, кроз више подпоглавља, теоријски оквир за израду докторске дисертације. У првом подпоглављу дат је преглед актуелних истраживања која обрађују механизме деловања ерозије за дуктилне и крте материјале са освртом на услове експлоатације који су слични оним која су симулирани у овом истраживању.

У другом подпоглављу дата је подела материјала који се користе као превлаке, а детаљно су описани материјали који имају већу отпорност на екстремне услове ерозије из категорије композита са металном основом, легуре које током очвршћавања формирају ојачавајућу фазу, итд. Посебна пажња је посвећена карбидној ојачавајућој фази и њеном доприносу у отпорности на деловање ерозије, начину њеног добијања, као и металним основама које служе као подлога за формирање композита. У оквиру овог подпоглавља обрађене су и легуре надеутектичког типа које се користе као превлаке, као и легуре железа са вишим садржајем легирајућих елемената.

У трећем подпоглављу дат је преглед поступака за наношење превлака, а детаљније је обрађен велики број савремених поступака. Посебна пажња је посвећена поступцима који су примењени у овом истраживању за израду узорака — плазма наваривање и метализацијама великим брзинама у струји продуката сагоревања (HVOF). Кроз историјски развој ових поступака истакнути су основни концепти и побољшања постигнутих на најсавременијим уређајима који се користе.

У четвртом подпоглављу обрађена је посебно група керамика које, према досадашњим истраживањима, имају супериорне особине у односу на остале материјале из ове групе, јер је код њих присутна могућност реверзибилне деформације, што их приближава понашању металних материјала и кандидује као могуће заштитне превлаке.

Литературни преглед актуелних истраживања и добијених резултата дат у овом поглављу представља основу за надоградњу и усмеравање рада у циљу достизања постављеног и жељеног циља дисертације.

Поставке експеримента

У поглављу Поставке експеримента, плански је одређен број узорака који је требало направити, према врсти савремених превлака и технологији наношења превлака у циљу експерименталног одређивања њихових особина. План истраживања показује да су експериментална истраживања у овој дисертацији подељена у три целине:

1. Израда узорака за одређивање утицаја јачине струје на карактеристике превлаке типа 316L нанете плазма наваривањем.
2. Истраживање утицаја врсте и састава превлаке на отпорност на ерозију. Узорци су израђени са превлакама типа 316L, WC/NiBSi, FeCrC, и WC/NiCrBSi које као представници припадају различитим групама превлака и то: превлаке са занемарљивим уделом ојачавајућих честица (316L), легуре ојачане унетим честицама ојачавајућих карбидних фаза (WC/NiBSi и WC/NiCrBSi) и превлака код којих се ојачавајућа фаза формира током очвршћавања (FeCrC). Превлаке су израђене плазма наваривањем у свим случајевима изузев код превлаке типа WC/NiCrBSi која је служила за поређење и која је нанета топлотом метализацијом. У оквиру овог дела експеримента израђена је апаратура за испитивање ерозије, као и мерење брзине честица еродента. Испитивање свих превлака на ерозију је планирано за један угао (20°) и три брзине наструјавања честица (92, 100 и 109m/s), као и за једну брзину честица (100 m/s) и три угла наструјавања (20, 30 и 45°).

За наношење превлака за први и други део експеримента као основни материјал коришћен је лим израђен од челика S235JR (Č0361) дебљине 10mm.

3. Израда узорака за трећи део експеримента је имала за циљ одређивање технологије наношења MAX фазе типа Ti₂AlC поступком HVOF. MAX фаза је нанета на котловску цев, израђену од топлотно постојаног челика X10CrMoVNb 9-1.

Од техника испитивања у Плану експеримента предвиђено је испитивање додатног материјала типа праха за сва три дела експеримента, визуелна контрола, металографска испитивања оптичком и скенирајућом електронском микроскопијом, одређивање састава фаза превлака енергодисперзионом спектроскопијом, мерење тврдоће и микротврдоће, рендгенско дифракциона анализа додатних материјала, као и ерозиони тест на апаратури прављеној за израду ове дисертације.

Резултати испитивања и дискусија

С обзиром да се експеримент састоји из три дела, у поглављу Резултати испитивања и дискусија посебно су дати резултати испитивања за сва три дела са дискусијом. За сва три дела експеримента заједнички је приказана анализа додатних материјала јер су неки од њих коришћени у више делова експеримента. Састав прахова је одређиван рендгенско дифракционом анализом, а облик и врсте фаза скенирајућом електронском микроскопијом. За MAX фазу извршено је и одређивање величине и расподеле честица у праху додатног материјала. Сви прахови су идентификовани.

1. У првом делу је кроз анализу добијених резултата испитивања, која су обухватила одређивање дебљине нанете превлаке за различите параметре, добијене ширине нанете превлаке, степен мешања основног и додатног материјала, као и микроструктуре и тврдоће навареног слоја, анализиран утицаја јачине струје на карактеристике превлаке типа 316L. Из анализе је проистекло да ширина навареног слоја, дубина уваривања, степен мешања и ширина ЗУТ-а на исти начин зависе од јачине струје. Такође, успостављена је корелација између примењене јачине струје током наваривања и мерљивих микроструктурних параметара, као и тврдоће на врху превлаке и микроструктурних параметара, што је отворило могућност за примену једноставне дијагностичке методе - мерењем тврдоће могуће је одредити просечну ширину хелија у микроструктури превлаке.

2. Узорци израђени са превлакама типа 316L, WC/NiBSi, FeCrC и WC/NiCrBSi које као представници припадају различитим групама су израђени плазма наваривањем у свим случајевима изузев код превлаке типа WC/NiCrBSi, која је служила за поређење и која је нанета гасно-пламеним поступком метализације. Анализом микроструктуре превлаке, идентификовани су микроконституенти, као и начин везивања са основом. Код све три превлаке са ојачавајућом фазом уочена је зона без ојачавајућих честица у зони везивања и њена појава је објашњена. Објашњено је и присуство фаза као и уочена дифузија која је наступила током nanoшења превлака и идентификована линијском енергодисперзионом анализом. Мерена је тврдоћа и микротврдоћа различитих зона превлака и успостављена корелација између односа тврдоће и микротврдоће основе у зони везивања, којом може да се процени допринос ојачавајућих фаза у укупној тврдоћи превлаке. Анализиране су еродирани површине и идентификовани су механизми ерозије и ојачавајуће фазе које имају највећи допринос у отпорности на ерозију превлака. Интересантно је да се неочекивано превлака ојачана фазама издвојеним током очвршћавала показала као најотпорнија при већим угловима наструјавања еродента, док је са порастом брзине највећу отпорност показала превлака ојачана крупним, монолитним, карбидним честицама. На овај начин су издвојене превлаке које имају највећу отпорност на ерозију у екстремним условима рада, а као заштита за компоненте термоенергетских постројења.

3. У трећем делу експеримента MAX фаза типа Ti_2AlC је успешно нанета у дебљини између 5 и $130\mu m$ на цев од топлотно постојаног челик X10CrMoVNb 9-1 HVOF поступком. Добијена превлака је садржала већи број грешака по дебљини превлаке, међутим, успостављена је релативно добра механичка веза са металном основом. Део MAX фазе је током процеса метализације у струји продуката сагоревања оксидирао и прешао у алуминијум и титан оксид, док је највећи део непромењен у саставу превлаке. Уочено је да је највећа оксидација присутна у зони везивања са супстратом, где се издвојио алуминијум оксид, који је одлична баријера за оксидацију на високим температурама. Ови резултати могу да отворе даља истраживања MAX фаза као међуслоја за везивање превлака отпорних на високе температуре.

Закључак

Закључак обухвата резиме рада по поглављима укључујући сублимацију научних и стручних доприноса као и предлог праваца даљих истраживања у овој области. Издвојени су значајни научни доприноси остварени радом на реализацији постављеног циља дисертације.

1. У првом делу је успостављена корелација између параметара наваривања превлаке типа 316L и геометрије навара, мерљивих микроструктурних параметара и тврдоће превлаке. Предложен је метод за дијагностику који може да се користи током поступка квалификације наношења ове превлаке на различите делове термоенергетских постројења.

2. У другом делу је утврђено да се превлака ојачана фазама издвојеним током очвршћавања, која има најмању цену јер је на бази железа, показала као најотпорнија при већим угловима и великим брзинам струјања. За мање углове и велике брзине честица еродента, највећу отпорност је показала превлака ојачана крупним, релативно хомогеним карбидним честицама. Резултати указују на то да је пре избора превлаке за заштиту делова термоенергетских постројења потребно извршити детаљну анализу услова њиховог рада да би се одабрала адекватна заштита.

3. У трећем делу експеримента, пошто је MAX фаза типа Ti_2AlC успешно нанета на цев од топлотно постојаног челик X10CrMoVNb 9-1 HVOF поступком, отворено је даље поље истраживања о могућностима коришћења ове и сличних керамика као превлаке.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Савремене технологије наношења превлака и њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима” представља савремен и оригиналан допринос решавању проблема оштећења компоненти изложених екстремним условима ерозије у термоенергетским постројењима. Оригиналност дисертације се односи на препоруке за потенцијалну примену савремених технологија наношења превлака за заштиту компонената у термоенергетским постројењима које раде у екстремним условима. Коришћене технике наношења и легуре спадају у најсавременије у овом тренутку.

У овој дисертацији је остварен и први покушај да се једна керамика из групе MAX фаза, успешно нанесе модерном техником наношења превлака у режиму у коме се комерцијално користи за наношење других превлака, на супстрат топлотно постојани челик класе 9Cr који спада у топлотно постојане челике нове генерације, о чему не постоје подаци у литератури. Такође, отворен је и већи број поља за даља истраживања, са другим додатним материјалима за екстремне услове ерозије, али и за даља истраживања могућности коришћења превлака на бази керамика.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Спроведена истраживања су оригинална и иновативна јер резултати сличних истраживања нису значајно заступљени у литератури. Такође, у овој дисертацији присутна је усклађеност са актуелним светским истраживањима у одговарајућој области, а огледа се применом сличних метода карактеризације материјала и процеса. Пре свега, мисли се на методе карактеризације нанетих превлаке и технологије њиховог наношења, као и симулирање екстремних радних услова. За израду ове дисертације коришћено је 270 литературних навода из одговарајуће области, који

обухватају широк опсег публикација, укључујући књиге, часописе, зборнике са домаћи и међународних конференција, разне студије и извештаје из области науке о материјалима. На овај начин, научна област је покривена најзначајнијим публикацијама које су у складу са тематиком и садржајем дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У овој дисертацији су обрађена питања савремених техника наношења превлака као што су плазма наваривање, поступак гасно пламене метализације и метализације великим брзинама у струји продуката сагоревања. Поред варирања параметара наношења превлака (316L) са циљем одређивања утицаја процеса на квалитет ове превлаке, у другом делу експеримента варирани су и основни параметри који су симулирали екстремно оштре радне услове у термоенергетским постројењима - брзина и угао наструјавања честица еродента. За други део експеримента израђене су апаратуре за симулирање екстремних услова ерозије и апаратура за одређивање средње брзине честица еродента. Такође, MAX фаза типа Ti_2AlC је први пут успешно нанета на топлотно постојани челик нове генерације HVOF поступком који за погонско гориво користи смешу керозина и кисеоника. Такође, извршена је и обимна микроструктурна и механичка карактеризација свих нанетих превлака.

3.4. Применљивост остварених резултата

Главни циљ ове докторске дисертације је одређивање оптималне технике и технологије наношења превлака, као и одабир одговарајућих материјала у циљу формирања конкретних упутстава и препорука везаних за заштиту компоненти термоенергетских постројења. С једне стране за заштиту компонената које су изложене веома оштрим параметрима ерозије, оштрији углови и веома велике брзине честица еродента, и са друге стране за заштиту компоненти које су изложене веома високој температури. Осим у термоенергетским постројењима, примена испитаних превлака, у циљу заштите површина, је широко распрострањена и у хемијској индустрији, у изради алата за рударску индустрију који су изложени екстремним условима рада (поред ерозије и абразији), итд. Конкретна примена ових резултата уследиће у неком од наредних ремонта блока термоелектране, у коме је предвиђена реконструкција канала аеросмеше и система сагоревања.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током свог досадашњег рада у овој области, кандидат је стекао значајно научно-истраживачко и практично искуство. Кандидат је приликом израде докторске дисертације, показао способност да сагледа проблеме истраживања са више аспеката и да креативно приступи њиховом решавању. Кроз систематичан преглед литературе и самостално истраживање савремених технологија наношења превлака и њихове карактеризације, кандидат је стекао висок степен самосталности у истраживачком раду. На основу претходно изнетих чињеница, као и на основу верификације остварених резултата истраживања путем објављивања у међународним часописима и њиховог саопштавања на међународним скуповима, може се донети оцена да је кандидат показао способност за самостални научни рад и испољио склоност ка тимском раду.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Истраживања превлака нове генерације и њихова карактеризација, као и примена модерних техника њиховог наошења, представљају основу за избор превлака у циљу њихове поуздане индустријске примене. Одређивање оптималне технике и технологије наошења превлака је кључни корак у циљу формирања конкретних упутства и систематизованих препорука везаних за заштиту компоненти термоенергетских постројења.

Научни допринос истраживања у овој дисертацији је даље унапређење сазнања из области механизма везе која се успоставља између превлаке и супстрата на микро нивоу, утицаја технике и праметара наошења на квалитет и особине превлаке, као и истраживање могућности наошења савремених керамичких материјала типа MAX фазе на топлотно постојане челике. Од посебних научних доприноса у овој дисертацији се издвајају:

- Код превлаке типа 316L успостављена је корелација између примењене јачине струје током наваривања плазма поступком и мерљивих микроструктурних параметара, као и тврдоће на врху превлаке и микроструктурних параметара, што је пружио могућност за примену иновативне и једноставне дијагностичке методе. Она се заснива на мерењу тврдоће превлаке што омогућава да се одреди просечна ширина ћелија у микроструктури ове превлаке.
- Успостављена је корелација између односа тврдоће и микротврдоће основе у зони везивања, којом може да се процени допринос ојачавајућих фаза у укупној тврдоћи превлаке за превлаке типа WC/NiBSi, FeCrC и WC/NiCrBSi.
- За ерозију при великим брзинама и малим угловима наструјавања идентификовани су механизми ерозије за превлаке типа 316L, WC/NiBSi, FeCrC и WC/NiCrBSi, као и ојачавајуће фазе које имају највећи допринос у отпорности превлака на ерозију у екстремним условима.
- Од свих испитаних превлака издвојене су превлаке које имају највећу отпорност на ерозију у екстремним условима рада у циљу заштите критичних компоненти термоенергетских постројења. Са порастом угла наструјавања највећу отпорност на ерозију је показала превлака код које је ојачавајућа фаза издвојена при очвршћавању равномерно по целој запремини (превлака на бази железа FeCrC), док је са порастом брзине струјања и при најмањим угловима највећу отпорност на ерозију показала превлака ојачана крупним, тврдим четицама (превлака на бази никла WC/NiBSi).
- MAX фаза типа Ti_2AlC је успешно нанета на котловску цев израђену од топлотно постојаног челик X10CrMoVNb9-1 HVOF поступком. Добијена превлака је делимично оксидирала, а највећа оксидација је присутна у зони везивања са супстратом где се издвојио алуминијум оксид. С обзиром да је алуминијум оксид одлична баријера за даљи раст оксида на повишеним температурама, ова карактеристика кандидује MAX фазу типа Ti_2AlC као потенцијални повољан међуслој за везивање превлака отпорних на високе температуре.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања и доприноса инжењерској пракси

Дисертација је планирана и заснована на резултатима пројекта за потребе привреде у којима је учествовао кандидат Александар Масларевић, као и на искуствима које је кандидат стекао током рада као инжењер репаратуре у фирми „Месер Техногас А.Д.“, Одсек Кастолин радионица.

Тренутно стање по питању заштите компоненти термоенергетских постројења изложених ерозији у екстремним условима није задовољавајуће. Једини кораци који су учињени по овом питању на термоенергетским постројењима у Републици Србији према нашем сазнању су из области одржавања и корекција радних услова критичних компоненти изложених ерозији. Међутим, до сада све предузете мере нису дале довољно добре резултате тако да је отворено поље за побољшање и иновативни искорак, што је и учињено у оквиру ове дисертације.

Симулирањем реалних услова рада са великим брзинама и малим угловима наструјавања еродента омогућено је да се изврши правилан избор превлаке за заштиту од ерозије. У раду је показано да правилан избор превлаке зависи од варијација у брзинама и угловима наструјавања, тако да процесу избора превлаке треба да претходи прецизно дефинисање реалних радних услова. Резултати приказани у овој дисертацији су неочекивано показали да су неке јефтиније превлаке показале већу отпорност на ерозију од знатно скупљих превлака, што је посебно интересно са инжењерског аспекта. Још један допринос инжењерској пракси је предлог једноставне дијагностичке методе за оцену постигнутог микроструктурног стања превлаке типа 316L током наваривања.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултате својих истраживања А. Масларевић је верификовао у радовима који су објављени у часописима и изложени на међународним конференцијама. Најважнији су следећи радови:

Категорија M13

1. Gordana M. Bakic, Milos B. Djukic, Bratislav Rajcic, V. Sijacki Zeravcic, **Aleksandar Maslarevic**, Miladin Radovic, Vesna Maksimovic, Nenad Milosevic, Characterization of Tube Repair Weld in Thermal Power Plant Made of a 12%Cr Tempered Martensite Ferritic Steel, Chapter: Fracture at all Scales; Part of the series Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer International Publishing, pp. 151 - 169, issn: 2195-4356, doi: 10.1007/978-3-319-32634-4_8, isbn: 978-3-319-32633-7, 2017.

Категорија M23

2. **Aleksandar Maslarević**, Gordana M. Bakić, Miloš B. Đukić, Bratislav Rajčić, Vesna Maksimović, Karakterizacija prevlake 316L nanete postupkom plazma navarivanja, Hemijska Industrija, vol. 72 (3), pp. 139-147, doi:10.2298/HEMIND170928005M, 2018.

Категорија M24

3. Gordana Bakić, V. Šijački-Žeravčić, Miloš Djukić, Bratislav Rajčić, Miladin Radović, Ivan Gajić, **Aleksandar Maslarević**, Aleksandar Jakovljević, Characterisation of Undermatch Welded Joint of X20CrMoV121 Steel After Prolonged Service, Structural Integrity and Life, DIVK and IMS, Belgrade, Serbia, Structural integrity and life (DIVK), vol. 14, no. 2, pp. 133 - 140, issn: 1451-3749, udc: 621.791:669.15-194.55, Beograd, Srbija, 15. - 18. Sep, 2014.

Категорија M32

4. G. Bakic, M. Djukic, V. Maksimovic, B. Rajicic, **A. Maslarevic**, Application of Metal Matrix Composite Coatings in Thermal Power Plants, 4th Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials, ISBN: 978-86-80109-20-6, Belgrade, Serbia, 14. - 16. Jun, 2017.

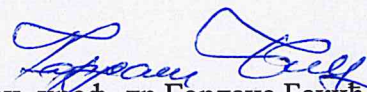
Категорија M33

5. **Aleksandar Maslarević**, Gordana Bakić, Miloš Đukić, Bratislav Rajičić, Aleksandar Petrović, Hladna Metalizacija, Sinteza 2017 - International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, pp. 343-348, ISBN: 978-86-7912-657-3, doi: 10.15308/Sinteza-2017-343-348, Republic of Serbia, April 21, 2017.
6. Gordana M. Bakic, Milos B. Djukic, Bratislav Rajicic, V. Sijacki-Zeravcic, Ivan Gajic, Andrej Prodanovic, **Aleksandar Maslarevic**, Nenad Milosevic, Characterization of Tube Welds Made of X20CrMoV121 Steel Obtained by Different Welding Technologies, International Conference "Power Plants 2016", Društvo termičara Srbije, vol. 1, no. 1, pp. 843 - 852, issn: 978-86-7877-024-1, Србија, 23. - 26. Nov, 2016.
7. Gordana M. Bakic, Miloš B. Djukic, Bratislav Rajicic, V. Sijacki Zeravcic, **Aleksandar Maslarevic**, Nenad Milosevic, Oxidation behavior during prolonged service of boiler tubes made of 2.25Cr1Mo and 12Cr1Mo0.3V heat resistance steels, Procedia Structural Integrity, 21st European Conference On Fracture-ECF21, Elsevier, vol. 2, no. , pp. 3647 - 3653, issn: 2452-3216, doi: 10.1016/j.prostr.2016.06.453, Italy, 20. - 24. June, 2016.
8. G.M. Bakic, V. Maksimovic, **A. Maslarevic**, M.B. Djukic, B. Rajicic, A. Djordjevic, Microstructural characterization of WC and CrC based coatings applied by different processes, Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe (MME SEE 2015), Associations of Metallurgical Engineers of Serbia - AMES (2015); Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade; Serbian Foundrymen, pp. 195 - 201, issn: 978-86-87183-27-8, Belgrade, Serbia, 3. - 5. Jun, 2015.
9. Danijela Marković, Gordana Bakić, **Aleksandar Maslarević**, Vesna Maksimović, Branislav Đorđević, Fe and Ni coating used for wear protection of blinds, 2nd International Conference Modern Methods of Testing and Evaluation in Science - NANT 2015, Scientific association for development and affirmation of new technologies, pp. 147 - 152, ISBN: 978-86-918415-1-5, Belgrade, Serbia, 14. - 15. Dec, 2015.
10. **Aleksandar Maslarević**, Bratislav Rajičić, Gordana Bakić, Miloš Đukić, Aleksandar Đorđević, Metalizacija velikim brzinama u struji produkata sagorevanja - HVOF, Synthesis 2015 - International Scientific Conference Of IT And Business Related Research, Singidunum University, pp. 262 - 267, ISBN: 978-86-7912-595-8, doi: 10.15308/Synthesis-2015-262-267, Republic of Serbia, 16. - 17. Apr, 2015.
11. Gordana Bakic, Milos Djukic, Radivoje Mitrovic, **Aleksandar Maslarevic**, Zarko Miskovic, Bratislav Rajicic, Vera Sijacki Zeravcic, 3d Profiling of 12Cr Heat Resistant Steel Charpy V Notch Fracture Surfaces Obtained at Different Temperatures, TEAM 2015 Technique, Education, Agriculture & Management, University of Belgrade - Faculty of Mechanical Engineering, Innovation Center of Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade, Society for Structural Integrity and Life, pp. 496 - 501, doi: 10.13140/RG.2.1.2527.8481, isbn: 978-86-7083-877-2, Srbija, 14. - 16. Oct, 2015.
12. **A. Maslarevic**, G. Bakic, V. Sijacki-Zeravcic, B. Rajicic, U. Lukic, Plasma Transferred Arc Hardfacing With 316L, 3rd South - East European Welding Congress - Welding And Joining Technologies For A Sustainable Development And Environment, National R & D Institute For Welding And Material Testing - ISIM Timisoara, Romania, pp. 283 - 288, issn: 978-606-554-955-5, doi: 10.13140/RG.2.1.3808.1520, Romania, 3. - 5. Jun, 2015.
13. **Aleksandar Maslarević**, Gordana Bakić, Uroš Lukić, Igor Martić, Impact of Parameters of Plasma Transferred Arc Welding Process on the Weld Layer Geometry, Proceedings of 18th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2014, Faculty of Mechanical Engineering in Zenica, University of Zenica, B&H; Bahcesehir University Istanbul, Muhendislik Fakultesi, Turkey; Escola Tecnica Superior D, pp. 445 - 448, ISSN: 1840-4944, Hungary, 10. - 12. Sep, 2014.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

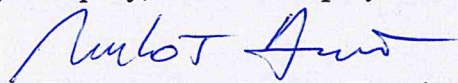
Прегледом и анализом достављене дисертације, Комисија је утврдила да она представља оригинално научно дело са значајним научним и техничким доприносима. У дисертацији је успостављена корелација између параметара наваривања превлаке типа 316L, микроструктурних параметара и тврдоће превлаке а предложена је и метода за дијагностику постигнутих микроструктурних карактеристика. Такође, успостављена је корелација између односа тврдоће и микротврдоће основе у зони везивања, којом може да се процени допринос ојачавајућих фаза у укупној тврдоћи превлаке за превлаке типа WC/NiBSi, FeCrC и WC/NiCrBSi, као и зависност механизма ојачавања и ерозионе отпорности. Резултати указују на то да је пре избора превлаке за заштиту делова термоенергетских постројења потребно извршити детаљну анализу услова њиховог рада да би се одабрала адекватна заштита. Успешно је нанета MAX фаза типа Ti_2AlC на цев израђену од топлотно постојаног челик X10CrMoVNb 9-1 HVOF поступком, и отворено је даље поље истраживања о могућностима коришћења ове и сличних керамика као превлаке. То су значајни доприноси ужој научној области Машински материјали и заваривање и сродни поступци. Резултати рада су верификовани у раду који је објављен у SCI часопису као и у другим публикованим радовима на међународним конференцијама. На основу горе наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом „Савремене технологије наношења превлака и њихова потенцијална примена на термоенергетским постројењима“ кандидата Александра Масларевића, студента Докторских студија, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



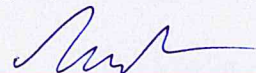
Ван. проф. др Гордана Бакић

Универзитет у Београду, Машински факултет



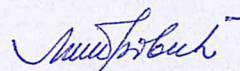
Ван. проф. др Милош Ђукић

Универзитет у Београду, Машински факултет



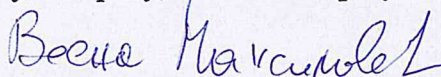
Проф. др Александар Седмак

Универзитет у Београду, Машински факултет



Проф. др Радивоје Митровић

Универзитет у Београду, Машински факултет



Др Весна Максимовић, научни саветник

Институт за нуклеарне науке „Винча“

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1408/4
Датум: 12.07.2018. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Правилника о докторским студијама, члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 12.07.2018. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ НАНОШЕЊА ПРЕВЛАКА И ЊИХОВА ПОТЕНЦИЈАЛНА ПРИМЕНА НА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИМ ПОСТРОЈЕЊИМА**“ студента **АЛЕКСАНДРА МАСЛАРЕВИЋА**, магист. инж. маш.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-3362/2-16, од 02.07.2016. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Категорија M23

1. **Aleksandar Maslarević**, Gordana M. Bakić, Miloš B. Đukić, Bratislav Rajičić, Vesna Maksimović, Karakterizacija prevlake 316L nanete postupkom plazma navarivanja, Hemijska Industrija, vol. 72 (3), pp. 139-147, doi:10.2298/HEMIND170928005M, 2018.

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за технологију материјала и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић