

Број захтева: I/2- 1594

Датум: 05. 11. 2014

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

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

Александра (Томислав) Ивановић

КАНДИДАТ: **Александра (Томислав) Ивановић**

Пријавила је докторску дисертацију под називом:

МОДЕЛОВАЊЕ ПРОЦЕСА ПРОИЗВОДЊЕ ПАЛАДИЈУМСКИХ КАТАЛИЗАТОРА У ЦИЉУ ДЕФИНИСАЊА ОПТИМАЛНИХ МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА

Из научне области: **Инжењерски менаџмент**

Универзитет је дана **31.03.2014.** године својим актом под бројем **61206-1104/2-14** дао сагласност на предлог теме дисертације која гласи: **МОДЕЛОВАЊЕ ПРОЦЕСА ПРОИЗВОДЊЕ ПАЛАДИЈУМСКИХ КАТАЛИЗАТОРА У ЦИЉУ ДЕФИНИСАЊА ОПТИМАЛНИХ МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

Александра (Томислав) Ивановић

образована је на седници одржаној **25.09.2014.** године, одлуком факултета под бр. **VI/4-19-5.2.**, у саставу:

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

1. Др Бисерка Трумић, виши научни сарадник, материјали и хемијске технологије, Институт за рударство и металургију у Бору, ментор
2. Др Иван Михајловић, ван. професор, инжењерски менаџмент, Технички факултет у Бору, члан
3. Др Ђорђе Николић, доцент, инжењерски менаџмент, Технички факултет у Бору, члан

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **30.10.2014.** године, под бројем: **VI/4-20-11.**

Декан Факултета

Проф. др Милан Антонијевић

Прилог:

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

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-20-11
Бор, 31. 10. 2014. године

На основу чл. 47. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно научно веће Факултета, на седници одржаној 30. 10. 2014. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **Александра Ивановић**, дипл. инж. металургије под називом: „**Моделовање процеса производње паладијумских катализатора у цињу дефинисања оптималних механичких карактеристика**“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана 31. 03. 2014. 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:

M23-Рад у међународном часопису

1. **Александра Ивановић**, Бисерка Трумић, Светлана Иванов, Саша Марјановић, *Моделовање утицаја температуре и времена хомогенизационог жарења на тврдоћу PdNi5 легуре*, Хемијска индустрија (2013), DOI:10.2298/HEMIND130620085I, View online: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0367-598X/2013%20OnLine-First/0367-598X1300085I.pdf> [ISSN: 0367-598X, IF (2012): 0.463; Category: Engineering, Chemical 104/133].
2. **Aleksandra T. Ivanovic**, Biserka T. Trumic, Nikola S. Vukovic, Sasa R. Marjanovic, Bata R. Marjanovic, *The influence of melting atmosphere and casting on the mechanical and structural characteristics of palladium-nickel alloy*, JOURNALS OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS, 16(7-8), 2014, p. 925 – 932., [ISSN 1454-4164, IF=0.504].

IV Именована ће бранити докторску дисертацију пред Комисијом у саставу:

1. др Бисерка Трумић, виши научни сарадник Института за рударство и металургију у Бору – ментор;
2. др Иван Михајловић, ванредни професор Техничког факултета у Бору – члан;
3. др Ђорђе Николић, доцент Техничког факултета у Бору – члан.

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

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

Доставити:

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

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Милан Антонијевић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Александре Ивановић

Одлуком бр. VI/4-19-5.2. од 26.09.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ивановић Александре под насловом

**МОДЕЛОВАЊЕ ПРОЦЕСА ПРОИЗВОДЊЕ ПАЛАДИЈУМСКИХ КАТАЛИЗАТОРА У
ЦИЉУ ДЕФИНИСАЊА ОПТИМАЛНИХ МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА**

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

Кандидат Ивановић Александра, дипломирани инжењер металургије, уписала је школске 2008/2009. године докторске академске студије на Техничком факултету у Бору на студијском програму: *Инжењерски менаџмент*.

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-13-5 од 18.12.2013. године именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-14-11 од 21. 02. 2014. године усвојен је извештај Комисије за оцену научне заснованости пријављене теме докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 31. 03. 2014. године донело је одлуку, број 61206-1104/2-14, о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације.

Решењем Декана Техничког факултета у Бору, број VI-1/10-85 од 02.06.2014. године Александри Ивановић је одобрено продужење рока за завршетак докторских студија у трајању од једног семестра.

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-19-5.2. од 26.09.2014. године именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Моделовање процеса производње паладијумских катализатора у циљу дефинисања оптималних механичких карактеристика“ по предмету истраживања припада научној области **техничко-технолошке науке**, односно ужој научној области – **инжењерски менаџмент** за коју је Технички факултет у Бору акредитован.

За ментора докторске дисертације одређена је др Бисерка Трумић. Др Бисерка Трумић је виши научни сарадник, Института за рударство и металургију у Бору. Др Бисерка Трумић је до сада објавила 10 радова у часописима са Импакт фактором, 12 радова у домаћим часописима, аутор је 2 монографије, 7 техничких решења као и 35 радова на интернационалним скуповима. Пет њених радова цитирано је 17 пута.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Александра Ивановић (рођ. Митић) рођена је у Београду, 02.11.1971. године. Основну и средњу школу је завршила у Алексинцу. На Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, одсек металургија дипломирала је 1997. године са просечном оценом 8,01 одбраном дипломског рада под називом: *“Испитивање утицаја садржаја калаја и телура на температуру рекристализације бакра”* те је стекла звање дипломирани инжењер металургије. Током студирања награђена је 1993. године Плакетом Техничког факултета за одличне студенте. Докторске студије на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду је уписала школске 2008/2009 године.

Кандидат је у периоду од 1998.-2000. године била запослена као Инжењер волонтер на Техничком факултету у Бору на Катедри за прерађивачку металургију. Истовремено ради и у Рударско-металуршкој школи као хонорарни професор металуршке групе предмета. У Институту за рударство и металургију у Бору ради од 15.06.2000.год., прво на радном месту Сарадник у Одељењу за прераду метала, затим као Стручни пројектант у Сектору за пројектовање и развој-Пројектни биро Металургија, а од 01.05.2011. као Истраживач сарадник у Сектору Наука и научно истраживачки пројекти. Стручни испит из области технологије положила је 2003. године. Поседује лиценцу бр. 385 J284 10 за одговорног пројектанта металуршких процеса.

Професионално искуство:

Организација	Од (год.)	До (год.)	
Технички факултет у Бору	15.06.1998.	14.06.2000.	Истраживач приправник
Рударско-металуршка школа	26.10.1999.	31.12.1999.	Професор
„РТБ Бор-Група“ Институт за бакар Бор	15.06.2000.	10.11.2005.	Сарадник
„РТБ Бор-Група“ Институт за бакар Бор	10.11.2005.	24.12.2009.	Стручни сарадник
Институт за рударство и металургију Бор	24.12.2009.	10.06.2010.	Виши стручни сарадник
Институт за рударство и металургију Бор	10.06.2010.	и сада	Истраживач сарадник

До сада је радила на пословима:

1. Развоја и унапређења постојећих технологија у прерађивачким погонима РТБ-а Бор
2. Развоја и унапређења постојећих технологија у области синтер-металургије
3. Вођење процеса електролитичке рафинације анода са повећаним садржајем племенитих метала
4. Послови израде пројектне документације – студије, главни пројекти и пројекти изведеног стања
5. Увођења система квалитета
6. Управљања отпадом
7. Сарадника на Пројектима МНТР

Говори енглески језик (Уверење бр. 22/I-2004 Индок Центар).

Има једну ћерку од 17 година.

Објавила је 8 радова у часописима са SCI листе, 26 радова у домаћим часописима ван SCI листе, 46 саопштења на међународним и 20 саопштења на конференцијама националног значаја, аутор је и коаутор 4 техничка решења као и 14 студија и пројеката.

Област интересовања: добијање и прерада платинских метала, карактеризација платинских метала, математичко моделовање реалних технолошких процеса, методе линеарне и нелинеарне статистичке анализе.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на укупно 184 стране укључујући прилоге, и састоји се од седам поглавља и осталих пратећих садржаја:

- Увод
- Преглед досадашњих истраживања
- Теоријски део
- Циљ истраживања
- Експериментални део
- Резултати и дискусија
- Закључак

На крају је дат списак коришћене литературе, биографија кандидата, списак радова проистеклих из израде докторске дисертације и прилози на 21 страну (само прилози 9 на страна).

Дисертација је илустрована са 57 слика и 29 табела, а у литературном прегледу цитирано је 113 литературних навода од којих је 6 аутора дисертације са сарадницима.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дат је кратак осврт на проблем губитака платинских метала у процесу производње азотне киселине као и на улогу катализатора-хватача у његовом решавању, постављене су и хипотезе истраживања.

У другом поглављу приказани су постојећи публиковани резултати карактеризације легура система Pd-Ni. Ово поглавље написано је на четири стране.

У трећем поглављу дате су основне напомене о паладијуму и легурама на бази паладијума уз кратак осврт на применљивост ових легура у индустрији, са детаљним

приказом технолошког процеса производње паладијумских катализатора-хватача (део 3.1.). Опис утицаја поступака прераде на структуру и механичке карактеристике паладијума и његових легура, као и опис промена својстава при њиховом загревању приказан је у делу 3.2. Посебну пажњу аутор је у делу 3.3. посветио приказу основних теоријских поставки у приступу експерименталном истраживању, као и методологији одзивне површине као једаном од основних алата у планирању и анализи експеримената. Дат је преглед планова експеримента за одређивање одзивне површине са детаљнијим описом коришћених планова експеримента у оквиру предметне докторске дисертације. Аутор указује на то да су подаци о легури PdNi5 врло оскудни док подаци о оптимизацији термомеханичког режима прераде ове легуре у литератури не постоје. Ово поглавље је написано на 45 страна.

Четврто поглавље садржи јасно дефинисане циљеве докторске дисертације и написано је на две стране.

У петом поглављу аутор детаљно описује начин извођења експеримената у ИРМ-у Бор. У оквиру овог поглавља детаљно су описане методе и апаратуре које су коришћене за карактеризацију PdNi5 легуре, а описани су и коришћени софтвери за статистичку обраду експерименталних резултата. Ово поглавље је написано на 15 страна.

У шестом поглављу, на 83 стране су приказани резултати испитивања из оквира предметне дисертације, као и дискусија тих резултата. Најпре је у првом делу (део 6.1.), у циљу дефинисања оптималних услова топљења и ливења PdNi5 легуре, извршена детаљна карактеризација одливака легуре PdNi5 зависно од примењене атмосфере топљења и ливења. У другом делу (део 6.2.), кроз упоредну анализу механичких и структурних карактеристика одливака након процеса хомогенизационог жарења дефинисана је адекватна атмосфера топљења и ливења PdNi5 легуре за даљу пластичну прераду. Статистичка обрада експерименталних резултата добијених мерењем тврдоће легуре PdNi5 топљене и ливене у атмосфери вакуума приказана је у трећем делу (део 6.3.) овог поглавља. Применом планираног факторног експеримента, типа 3^2 дефинисан је математички модел за описивање утицаја параметара хомогенизационог жарења на тврдоћу одливака легуре PdNi5. У четвртом делу овог поглавља (део 6.4.) приказани су резултати истраживања утицаја параметара рекристализационог жарења на механичке и структурне карактеристике легуре PdNi5 кроз мерење тврдоће, издужења и затезне чврстоће легуре PdNi5 након рекристализационог жарења у температурном опсегу 200 – 1000°C у трајању од 20, 30 и 40 минута за три степена деформације на ваљању (60, 85 и 97%). Оптимални услови термомеханичког режима прераде узорака легуре PdNi5 деформисане степеном деформације од 97% одређени су применом Симплекс методе и приказани у четвртом делу овог поглавља (део 6.5.). Резултати испитивања механичких карактеристика легуре PdNi5 након процеса електроотпорног жарења приказани су у шестом делу овог поглавља (део 6.6.). Оптимизација процеса производње PdNi5 легуре извршена је применом планираног експеримента типа 3^6 и приказана је у седмом делу овог поглавља (део 6.7.). У овом делу предметне докторске дисертације дефинисан је и оптимизациони модел трансформационог процеса производње паладијумских катализатора-хватача, а приказан је и дијаграм управљања овим процесом.

У седмом поглављу, **Закључак**, на осам страна су изнети закључци изведени на основу резултата добијених истраживањима у оквиру дисертације. Аутор при томе истиче предности израђених математичких модела.

На крају је дата литература, која обухвата 113 релевантних референтних навода, кратка биографија кандидата, објављени радови проистекли из дисертације и прилози.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Моделовање различитих технолошких процеса у циљу предвиђања њиховог исхода у новије време постаје све актуелније о чему сведочи растући тренд објављивања радова из ове проблематике. У том смислу, а и са аспекта проблема који обрађује и са аспекта методолошког приступа истраживању, дисертација Александре Ивановић свакако је савремена.

Постројења за производњу азотне киселине, при високо температурним процесима катализе, на различитим притисцима, суочена су са настанком великих губитака платине и платинских метала из катализаторских мрежица услед настајања испарљивих оксида метала (PtO_2 , PdO и RhO_2) који бивају однешени гасном струјом. Највећи део ових губитака су неповратни губици. Само 35-40% метала се може, периодичним чишћењем гасних инсталација од налепака и прашине у њима, те заменом и прерадом филтерске испуне рециклирати. Један од начина за смањење овако насталих губитака платинских метала, с обзиром на њихову високу цену, јесте примена катализатора-хватача израђених од легуре PdNi_5 , постављених у комбинацији са конвенционалним платинским катализаторима. Процес производње жица од легуре PdNi_5 за израду катализатора-хватача је врло комплексан, те је оптимизација параметара технолошког процеса производње PdNi_5 жица за израду катализатора-хватача извршена најпре за сваку технолошку операцију производног процеса посебно, а затим је процес посматран као јединствена целина, при чему су резултати оптимизације појединих технолошких операција узети у обзир уколико је утврђен њихов негативан утицај на даљу пластичну прераду ове легуре.

У дисертацији се најпре врши моделовање процеса хомогенизационог жарења применом планираног експеримента типа 3^2 при чему су варирани температура и време жарења а као одзив система је посматрана вредност тврдоће узорака топљених и ливених у атмосфери вакуума. Промене тврдоће које су уочене током процеса хомогенизационог жарења, у функцији посматраних фактора (температура и време хомогенизационог жарења), су адекватно описане регресионим полиномом другог реда што потврђују високе вредности коефицијента детерминације ($R^2=0,991$). Добијени резултати указују да се дефинисани математички модел промене тврдоће при процесу хомогенизационог жарења, може ефикасно користити за предвиђање тврдоће легуре PdNi_5 унутар изабраних нивоа улазних фактора са вероватноћом од 99%.

У циљу одређивања оптималних услова процеса рекристализационог жарења примењена је Симплекс метода. Варирани су температураи време жарења, а као одзив система посматрана је вредност тврдоће, затезне чврстоће, издужења као и границе развлачења. Статистичком анализом на бази Студентовог-критеријума, добијених експерименталних података помоћу специјално развијеног софтвера у програмском окружењу Delphi, дефинисан је математички модел регресионог полинома четвртог реда и конструисане су изоленије промене механичких особина испитиване легуре у зависности од услова термичке обраде након ваљања.

У циљу оптимизације и управљања процесом термомеханичке обраде легуре PdNi_5 за израду катализатора-хватача примењена је метода одзивне површине (RSM) а коришћен је планирани експеримент типа 3^6 . Статистичком обрадом резултата мерења дефинисани су математички модели којим се описује утицај параметара процеса производње PdNi_5 жица на издужење, затзну чврстоћу и електропроводност. Вредности коефицијента детерминације коначних модела $R^2 \cong 0,90$ индикују добро слагање експерименталних и моделом предвиђених вредности испитиваних механичких карактеристика. На основу постављених математичких модела је могуће поуздано прогнозировать вредности механичких карактеристика, као што су тврдоћа, затезна чврстоћа и издужење, који представљају кључни фактор приликом примене PdNi_5 катализатора у „хватању“ платинских метала. Ова

истраживања су резултовала дефинисањем оптимizacionог модела трансформационог процеса производње паладијумских катализатора-хватача.

Истраживања у оквиру ове дисертације представљају оригинални приступ проблематици израде паладијумских катализатора-хватача. Овим истраживањима дошло се до оригиналних предикционих модела који описују утицај параметара термо-механичког режима прераде на механичка својства легуре PdNi5. На основу резултата мерења механичких карактеристика применом новог концепта дизајна експеримента створени су услови за оптимизацију технолошког процеса производње легуре PdNi5 у облику жица задовољавајућих механичких и структурних карактеристика како би се од њих могле израђивати катализаторске мреже. Дефинисани оригинални математичким моделима је могуће предвидети механичке и електричне особине PdNi5 катализатора-хватача у зависности од улазних (технолошких) параметара процеса производње ове легуре. Уједно, истраживања у оквиру ове докторске дисертације доприносе и повећању знања о легури PdNi5.

Неоспоран је и потенцијални технолошки значај ове докторске дисертације, обзиром да предметна докторска дисертација свој практични допринос остварује кроз унапређење процеса каталитичке оксидације амонијака у ХИП Азотари Панчево, односно у решавању проблема губитака платинских метала.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је коришћена литература која обухвата чланке који приказују резултате релевантне за тему докторске дисертације, објављене у часописима са SCI листе новијег датума као и неким другим међународним часописима. Стога се коришћена литература може оценити као адекватна и актуелна. Неки од радова и књига који су послужили као основа за истраживања су:

1. Javier Pérez-Ramírez, Evgenii V. Kondratenko, Gerard Novell-Leruth, Josep M. Ricar, Mechanism of ammonia oxidation over PGM (Pt, Pd, Rh) wires by temporal analysis of products and density functional theory, *Journal of Catalysis* 261 (2009) 217–223.
2. B.Trumić, D.Stanković, Katalitička oksidacija amonijaka, *IRM Br*, 2009.
3. M.A. Barakat, M.H.H. Mahmoud, Recovery of platinum from spent catalyst, *Hydrometallurgy* 72(2004), pp. 179-184.
4. Yuantao Ning, Zhengfen Yang and Huaizhi Zhao, Platinum Recovery by Palladium Alloy Catchment Gauzes in Nitric Acid Plants, *THE MECHANISM OF PLATINUM RECOVERY*, *Platinum Metals Rm.*, 1996, 40, (2), 80-87.
5. Trumić, B., Stanković, D. i Trujić, V., Impact of the Increased Active Surface of the Platinum Catalyst on the Total Ammonia Recovery Coefficient, *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy*, 45(1)2009, pp. 69-78.
6. Y. Ning, Z. Yang and H. Zhao, Platinum Recovery by Palladium Alloy Catchment Gauzes in Nitric Acid Plants- The Mechanism of Platinum Recovery, *Platinum Metals Rev.*, 1996, 40, (2), pp. 80-87.
7. R. Kraehnert, M. Baerns, Morphology Changes of Pt-Foil Catalyst Induced by Temperature-Controlled Ammonia Oxidation Near Atmospheric Pressure, *Applied Catalysis A: General* 327 (2007), pp. 73–81.
8. Zhenfen Yang , Yuantao Ning, Huaizhi Zhao, Changes of composition and surface state of palladium-nickel alloy gauzes used in ammonia oxidation apparatus, *Journal of Alloys and Compounds* 218 (1995) 51-57.
9. Z. Rdzawski, B. Nikiel, Z. Smieszek, New Platinum and Palladium Alloys Used in the Processes of Catalytic Ammonia Oxidation, *Precious Metals* (1996) 133-146.

10. Lenka Hannevold, Ola Nilsen, Arne Kjekshus, Helmer Fjellvåg, Surface reconstruction on noble-metal catalysts during oxidation of ammonia, *Applied Catalysis A: General* 284 (2005) 185–192.
- a. Pantelić, *Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta*, Univerzitet „Radivoj Ćirpanov“, Novi Sad, 1976.
11. Ž.R. Lazić, *Design of Experiments in Chemical Engineering: A Practical Guide*, Wiley–VCH, Weinheim, 2004, p.465.
12. D. Živković, D. Minić, D. Manasijević, J. Šestak, Ž. Živković, Thermal analysis and prediction of phase equilibria in ternary Pb–Zn–Ag system, *J. Min. Metall.*, B 47(2011) 23–30.
13. R.A. Fisher, "Studies in Crop Variation. II. The Manurial Response of Different Potato Varieties", *J. Agricultural Sci.*, 13(1923)311–320.
14. G.E.P. Box and K.B. Wilson, "On the experimental attainment of optimal conditions", *J. Roy. Statist. Soc.*, B13(1951)1–45.
15. H. Scheffe, Simplex-centroid designs for experiments with mixtures, *J. Roy. Stat. Soc. B* 25 (1963) 235–263.
16. P. V. Petrenko, A. V. Gavriljuk, N. P. Kulish, N. A. Mel'nikova and Yu. E. Grabovskii, Structural Changes During Annealing of Deformed Pd-25at%Ni Alloy, *The Physics of Metals and Metallography*, 108(5) 2009, 449–454.
17. S. Helfensteyn et al., Modelling Surface Phenomena in Pd–Ni Alloys, *Applied Surface Science* 212–213 (2003), pp.844–849.
18. A Tari and B. R. Coles, Electrical Resistivity and the Transition TO Ferromagnetism in the Palladium-nickel Alloys, *Journal of Physics F: Metal Physics*, 1(6)1971, L69.
19. L. R Bidwell, R Speiser, The Relative Thermodynamic Properties of Solid Nickel-palladium Alloys, *Acta Metallurgica*, 13(2) 1965, 61–70.
20. <http://resource.npl.co.uk/mtdata/phdiagrams/nipd.htm>
21. M. Kasprzak, D. Baither and G. Schmitz, Diffusion-induced Recrystallization in Nickel/palladium Multilayers, *Acta Materialia* 59(4) 2011, 1734–1741.
22. W.P. Griffith, Melting the platinum group metals, *Platinum Metals Rev.*, 53(4)2009, 209–215.
23. J. Gegner, G. Hörz and R. Kirchheim, Diffusivity and solubility of oxygen in solid palladium, *Journal of Materials Science*, 44(9)2009, 2198–2205.
24. D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments: Response surface method and designs*, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2005.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Моделовање технолошког процеса производње легуре PdNi5 спроведено је на основу експерименталних резултата добијених у лабораторијским условима. У овој дисертацији примењено је више савремених, стандардизованих метода мерења и аналитичких техника, као и методе калкулације и моделирања. У експерименталном раду коришћене су следеће методе:

а) метода мерења тврдоће и микротврдоће

Применом Викерсове методе на комбинованом апарату за мерење тврдоће по Викерсу и Бринелу произвођача WPM (Werkstoffprüfmaschinen), Немачка, са опсегом мерења тврдоће од 5 до 250 daN (слика 5.4.) при оптерећењу од 5 kgf (49,05 N) и времену трајања оптерећења од 15 секунди мерена је тврдоћа узорака легуре PdNi5.

Микротврдоћа је мерена на уређају „ПМТЗ“ при оптерећењу од 100 gf (0,98N) и трајању оптерећења од 15s.

б) метода мерења електропроводности

Мерење електричне проводности вршено је на: 1) уређају за мерење електричне проводности „Institut dr. Förster SIGMATEST 2.063“, за вредности веће од 5 MS/m и 2) Вистоновим мостом за вредности мање од 5 MS/m.

в) метода испитивања затезањем

Испитивања затезањем у овој дисертацији вршена у складу са стандардом ISO 6892-1:2009(E), односно SRPS EN ISO 6892-1:2012., а обухватила су одређивање затезне чврстоће, границе развлачења и релативног издужења. Испитивања затезањем урађена су на универзалној машини за испитивање затезањем, притискањем и савијањем, типа „Mohr + Federhaf + Losenhansen“ – Mannheim, као и на универзалној машини за испитивање материјала Instron 1332 од 100 kN. Испитивања затезањем жица финалног пречника за израду паладијумских катализатора-хватача урађена су на кидалици Otto Wolpert до 100kg, на опсегу од 5kg.

г) методе за структурну карактеризацију

Микроструктурна анализа обухватила је оптичку и скенирајућу електронску микроскопију. За оптичку микроскопију коришћен је металографски микроскоп „EPITYP 2“ док је за скенирајућу електронску микроскопију коришћен електронски микроскоп JOEL JSM-6610LV.

д) методе за хемијску карактеризацију

Хемијска карактеризација узорака након топљења и ливења вршена је у на апарату CHNOS Elemental Analyzer, модел VARIO Macro cube. За контролу састава изливене легуре у вакууму коришћен је рендгенскофлуоресцентни анализатор NITON XL3t-950.

ђ) методе калкулације и моделирања

Методе калкулације и моделирања коришћене су за истраживање комбинације производних услова која ће дати оптимум у квалитету производа и његовој економичности кроз примену вишефакторног планираног експеримента. Статистичко моделовање добијених резултата у циљу дефинисања корелационе зависности и утицаја испитиваних величина од улазних (технолошких) параметара процеса производње паладијумских катализатора остварено је применом методе одзивних површина. За сваки од одзива дефинисана је функција одзива полиномског типа и одређени су коефицијенти полинома, а анализом варијансе (ANOVA) потврђена је тачност модела. За статистичку обраду резултата коришћен је софтверски пакет SPSS v18 као и специјално развијени софтвер у окружењу Delphi, а MLAB за графички приказ одзивне површине. Анализом добијених резултата дефинисани су најприхватљивији модел зависности излазних од улазних параметара процеса производње PdNi5 жица за израду катализатора-хватача, као и вредности улазних параметара у циљу добијања оптималних вредности механичких карактеристика жице за израду катализатора-хватача од легуре PdNi5.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати до којих је дошао аутор су применљиви у пракси, односно у процесу каталитичке оксидације амонијака, приликом решавања губитака палтинских метала, пре свега платине. У складу са тим, свеукупно истраживање представљено овим радом, од прикупљања и обраде експерименталних података, преко дефинисања математичких модела за описивање утицаја параметара термомеханичке обраде на механичке и електричне карактеристике легуре PdNi5, па коначно до креирања оптимизационог модела трансформационог процеса производње паладијумских катализатора-хватача, имао је за циљ да докаже да је могуће остварити практичну спрегу експерименталних метода и методе калкулације и моделирања.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, проистекли публиковани научни радови (8 радова укупно (2 цитата) од којих су 2 рада из оквира докторске дисертације) и учешће у реализацији научно-истраживачких пројеката указују на способност кандидата Ивановић Александре, дипл.инж. металургије, за самостални научни рад (од иницијалне идеје до завршетка дисертације), као и за активно учешће у тимском раду. Кандидат је током израде дисертације у потпуности овладао методологијом научно-истраживачког рада.

Квалитет рада, организованост, систематичност и натпросечна мотивисаност коју је показала током израде докторске дисертације су елементи који квалификују Ивановић Александру за будући, успешан, самостални и тимски, научно-истраживачки рад. Савременост и оригиналност приказаних резултата показују висок ниво спремности кандидата за компетентно бављење научно-истраживачким радом.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације резултирају новим подацима о легури PdNi5 и оптимизацији самог процеса производње ове легуре. Остварен допринос у дефинисању свеобухватнијег објашњења термомеханичког режима прераде PdNi5 легуре огледа се у дефинисању:

- Оригиналних предикционих модела који описују утицај параметара термомеханичког режима прераде на механичка својства легуре PdNi5.
- Оригиналне зависности тврдоће узорака легуре PdNi5 након процеса хомогенизационог жарења од температуре и времена жарења, применом планираног експеримента типа 3². Остварени R^2 при моделовању овог процеса је 0,991. Сходно томе, може се закључити да се дефинисани математички модел промене тврдоће при процесу хомогенизационог жарења, може ефикасно користити за предвиђање тврдоће легуре PdNi5.
- Дефинисања оригиналних предикционих модела зависности тврдоће, затезне чврстоће, издужења и границе развлачења од утицајних фактора процеса рекристализационог жарења применом Симплекс методе. Статистичком анализом на бази Студентовог критеријума, добијених експерименталних података помоћу оригиналног, специјално развијеног софтвера од стране аутора дисертације и сарадника, у програмском окружењу Delphi, дефинисан је математички модел регресионог полинома четвртог реда и конструисане су изолиније промене механичких особина испитиване легуре у зависности од услова термичке обраде након ваљања.
- Применом новог концепта дизајна експеримента, на основу резултата мерења механичких карактеристика, створени су услови за оптимизацију технолошког процеса производње легуре PdNi5 у облику жица задовољавајућих механичких и структурних карактеристика како би се од њих могле израђивати катализаторске мреже. Применом планираног експеримента типа 3⁶ дефинисани су математички модели зависности затезне чврстоће, издужења и електропроводности од статистички значајних улазних фактора процеса производње паладијумских катализатора-хватача. Коефицијенти детерминације су износили: $R_A^2 = 0,908$; $R_{R_m}^2 = 0,893$; $R_\sigma^2 = 0,874$.

- Дефинисаним оригиналним математичким моделима омогућено је да се избором радних параметара у процесу производње легуре за катализаторе-хватаче поуздано могу прогнозирати вредности механичких карактеристика, као што су тврдоћа, затезна чврстоћа и издужење, који представљају кључни фактор приликом примене PdNi5 катализатора у хватању платинских метала у високо температурним процесима катализе. Вредности коефицијента детерминације коначних модела $R^2 \cong 0,90$ индикују добро слагање експерименталних и моделом предвиђених вредности испитиваних механичких карактеристика.
- На основу испитиваних карактеристика легуре PdNi5 топљене и ливене у атмосфери ђумура и у вакууму, дошло се до закључка да примена атмосфере вакуума за топљење и ливење доводи до изразите пластичности узорака легуре PdNi5 за даљу прераду ваљањем, док је пластична прерада легуре PdNi5, топљене и ливене у атмосфери ђумура, немогућа.
- Истраживања у оквиру ове докторске дисертације дају велики научни допринос у свеобухватном знању о легури PdNi5, имајући у виду да наведена легура није довољно испитана са аспекта структурних и механичких особина у зависности од примењеног режима термо-механичке обраде, које су уједно од значаја за избор оптималне технологије добијања производа на бази ове легуре.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Ова докторска дисертација садржи обиље експерименталних лабораторијских података. На основу добијених података дефинисани оригинални математички модели омогућиће да се избором радних параметара у процесу производње катализатора-хватача поуздано могу прогнозирати вредности механичких карактеристика истих, које представљају кључни фактор приликом примене PdNi5 катализатора у хватању платинских метала у високотемпературним процесима катализе. Примена катализатора – хватача очекије се у Азотари Панчево, али и у сличним постројењима.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос ове докторске дисертације је верификован кроз публикације проистекле као резултат истраживања у оквиру теме, о чему сведоче радови објављени у научним часописима, радови саопштени на конференцијама као и техничко решење:

M23-Рад у међународном часопису,

1. **Александра Ивановић**, Бисерка Трумић, Светлана Иванов, Саша Марјановић, *Моделовање утицаја температуре и времена хомогенизационог жарења на тврдоћу PdNi5 легуре*, Хемијска индустрија (2013), прихваћен рад, DOI:10.2298/HEMIND130620085I, View online: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0367-598X/2013%20OnLine-First/0367-598X1300085I.pdf> [ISSN: 0367-598X, IF (2012): 0.463; Category: Engineering, Chemical 104/133].
2. **Aleksandra T. Ivanovic**, Biserka T. Trumic, Nikola S. Vukovic, Sasa R. Marjanovic, Bata R. Marjanovic, *The influence of melting atmosphere and casting on the mechanical and structural characteristics of palladium-nickel alloy*, JOURNALS OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS, 16(7-8), 2014, p. 925 – 932., [ISSN 1454-4164, IF=0.504].

M33 – Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini

1. **Aleksandra Ivanovic**, Biserka Trumic, Sasa Marjanovic, Bata Marjanovic, Nikola Vukovic, Structural and mechanical properties of Pd-Ni5 alloy, 44th International October Conference on Mining and Metallurgy, Proceedings, October 2012, Bor , Serbia, ISBN 978-86-7827-042-0, pp. 477-480.
2. **Aleksandra T. Ivanovic**, Biserka T .Trumic, Svetlana Lj. Ivanov, Sasa R. Marjanovic, Prediction of hardness after homogenization annealing of PdNi5 alloy by using statistical analysis, 17th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2013, Istanbul, Turkey, September 2013, Proceedings, pp.125-128.
3. **Aleksandra Ivanović**, Biserka Trumić, Milorad Zrilić, Saša Marjanović, Vesna Marjanović, Jelena Petrović, Optimization of mechanical properties of PdNi5 alloy, 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, 16-19 October 2013, Bor, Serbia, ISBN: 978-86-6305-012-9, COBISS.SR-ID 201860108, Proceedings, pp. 487-490.
4. **Aleksandra T. Ivanovic**, Biserka T. Trumic, Svetlana Lj. Ivanov, Sasa R. Marjanovic, Prediction of mechanical characteristics after recrystallization annealing of PdNi5 alloy by using statistical analysis, 18th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2014, Budapest, Hungary, September 2014, Proceedings, pp. 105-108.

M82 – Техничка и развојна решења

Б. Трумић, С.Марјановић, С. Димитријевић, Л. Гомицеловић, **А. Ивановић**, Освајање технологије производње Pd катализатора-хватача, Институт за рударство и металургију Бор, 2011.

Испитивања обухваћена овом докторском дисертацијом представљају део истраживања у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:Пројекат ТР34029 „Развој технологије производње Pd катализатора-хватача за смањење губитака платине у високотемпературним процесима катализе“ (циклус: 2011.-2014.).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата **Александра Ивановича**, дипл. инж. металургије под насловом **МОДЕЛОВАЊЕ ПРОЦЕСА ПРОИЗВОДЊЕ ПАЛАДИЈУМСКИХ КАТАЛИЗАТОРА У ЦИЉУ ДЕФИНИСАЊА ОПТИМАЛНИХ МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА** представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос. Дисертација је у сагласности са образложењем у пријави теме и садржи све елементе које предвиђа Правилник о докторским студијама Универзитета у Београду – Технички факултет у Бору. У дисертацији кандидата Александра Ивановича (рођене Митић) приказан је велики део оригиналних резултата, дато је неколико оригиналних математичких модела термомеханичког режима прераде легуре PdNi5, што отвара нова подручја у проучавању ове легуре.

На основу прегледане докторске дисертације, као и увида у верификован научни допринос кроз објављене радове у часописима (2 рада као првопотписани аутор у међународним часописима категорије M20), комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације закључује да кандидат **Ивановић Александра**, дипл. инж. металургије, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације. Такође, комисија закључује да је урађена дисертација написана према стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, као и Статутом Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Стога комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору да прихвати позитиван извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Александра Ивановича, дипл. инж. металургије, под називом: „*Моделовање процеса производње паладијумских катализатора у циљу дефинисања оптималних механичких карактеристика*“, да исти извештај упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, те да након тога кандидата позове на јавну одбрану.

У Бору, 06.10.2014.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Бисерка Трумић, виши научни сарадник-ментор
Институт за рударство и металургију у Бору

др Иван Михајловић, ванредни професор-члан
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

др Ђорђе Николић, доцент-члан,
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору