

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ

35/419
(Број захтева)
13.02.2020.
(датум)

Образац 2
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ
НАУКА

(назив већа научне области коме се захтев упућује)

Београд, Студентски трг бр. 1

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

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

Наташе (Милан) Гајић, мастер инжењер технологије

КАНДИДАТ: **Наташа Гајић** пријавила је докторску дисертацију под називом:
„Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“

Из научне области: **МЕТАЛУРШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Универзитет је дана **25.03.2019.** године, својим актом **61206-1325/2-19.** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Наташе Гајић** образована је на седници Наставно-научног већа одржаној **04.07.2019.** године Одлуком Факултета под бр. **35/228.** у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Жељко Камберовић	Редовни професор	Металургија
2. Др Марија Кораћ	Научни саветник	Металургија
3. Др Јармила Трпчевска	Доцент	Метални материјали и рециклажа

Студент је уписан на докторске студије школске 2014/2015. године.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **24.12.2019.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 24.12.2019. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Жељко Камберовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Марија Кораћ, научни саветник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јармила Трпчевска, доцент Универзитета у Кошицама, Факултет за материјале, металургију и рециклажу, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима**“ коју је поднела **Наташа Гајић**, мастер инжењер и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације **Наташе Гајић**, под називом „**Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима**“ Одлуком број: 61206-1325/2-19 од 25.03.2019. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

- 1.1. **N. Gajić**, Ž. Kamberović, Z. Andjić, J. Trpčevská, B. Plešingerova, M. Korać, Synthesis of tribological WS₂ powder from WO₃ prepared by ultrasonic spray pyrolysis (USP), *Metals*, прихваћен за штампу, 22.02.2019.

Категорија M23:

- 1.1. **N. Gajić**, Ž. Kamberović, Z. Andjić, M. Korać, J. Trpčevská, M. Stamatović, Improving the synthesis process of tribological materials based on tin sulfides by adding graphite as additive, *Journal of the Serbian Chemical Society*, Vol. 83, No. 0 (2018) pp 1-12, <https://doi.org/10.2298/JSC180628102G>

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Наташе М. Гајић, мастер инжењера технологије

Одлуком број 35/228 од 04.07.2019 године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Наташе М. Гајић, мастер инжењера технологије, под насловом

Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима

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

27.11.2019. год.- Кандидат Наташа М. Гајић, мастер инжењер технологије, је пријавила тему докторске дисертације под насловом: „Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“.

06.12.2018. год. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, донета је Одлука број 35/473 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације.

14.03.2019. год.– На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука број 35/71 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и одобрена је израда докторске дисертације кандидат Наташе М. Гајић, мастер инжењера технологије, под насловом: „Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“. За ментора је одређен др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду.

25.03.2019. год. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је Сагласност број 61206-1325/2-19 на предлог теме докторске дисертације кандидата Наташе М. Гајић, мастер инжењера технологије, под насловом: „Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“.

04.07.2019. год. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је Одлука број 35/228 о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Наташе М. Гајић, мастер инжењера технологије.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Металуршко инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментор др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, је на основу објављених публикација и искустава компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Наташа М. Гајић, рођена је 03.06.1982. године у Београду. Гимназију је завршила 2001. године у Младеновцу.

Школске 2009/2010 године уписала је Технолошко-металуршки факултет, Универзитета у Београду. Студије је завршила 2013. године на смеру Инжењерство материјала, са просечном оценом студија 8,90. Завршни рад под називом „Испитивање услова формирања оксидулозних нановлакна електропретдењем” одбранила је са оценом 10,00. Ментор у изради завршног рада је био др Радослав Алексић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду.

Школске 2013/2014 године уписала је мастер студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, смер Инжењерство материјала. Завршни мастер рад под називом „Оптимизација процеса формирања оксидулозних нановлакна електропретдењем” одбранила је са оценом 10,00. Ментор у изради завршног мастер рада је била др Мирјана Костић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду.

Школске 2014/15 године уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, смер Металуршко инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом на докторским студијама са просечном оценом 9,91. Завршни испит „Синтеза одабраних сулфида технолошких метала” одбранила је 2017. године са оценом 10.

Докторску дисертацију, на тему „Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима”, пријавила је 2018. године, на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, на катедри за Металуршко инжењерство. За ментора је одређен др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду.

Од 2014. године запослена је у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета у Београду, као истраживач приправник. У звање истраживач сарадник изабрана је 2019. године.

Ангажована је на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Наташе М. Гајић, мастер инжењера технологије, под насловом: „Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“ написана је на укупно 114 страна и садржи 8 поглавља, 86 слика (графичких приказа), 25 табела и 100 литературна навода. Текст дисертације обухвата следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Преглед литературних резултата, Експериментални део, Резултати, Анализа резултата, Закључак и Литература. Дисертација садржи и изводе на српском и енглеском језику, изјаву захвалности, биографске податке кандидата, списак научних радова и саопштења произашла из резултата докторске дисертације, 3 обавезна прилога, тј. изјаве, као и оцену извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. По својој форми и садржају, поднети рад задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу докторске дисертације, **Увод**, дефинисани су основни појмови значајни за појаве и процесе који се одигравају у трибомеханичким системима. Представљена је подела мазива према агрегатном стању, саставу и примени са посебним освртом на чврста мазива. Описан је циљ развоја триболошких материјала са више аспеката од којих су најважнији поузданост рада елемената трибомеханичких система, смањење потрошње енергије и опасности по животну средину и здравље људи услед њихове примене. Затим је описан значај прахова сулфида калаја и волфрама као чврстих мазива са аспекта њихове индустријске употребе и глобалне економије. Посебно су описане предности прахова сулфида калаја и волфрама у поређењу са традиционалним чврстим мазивима. Истакнута је њихова доминанта улога у екстремним условима експлоатације где традиционални адитиви не могу да испуне тражене захтеве (стабилан коефицијента трења у широком температурном опсегу и при високим притисцима, еколошка прихватљивост). Дати су мериторни подаци о пројектованим уштедама енергије и трошковима који се постижу иновативним начином синтезе и употребом побољшаних триболошких материјала, који краткорочно гледано (за период од 8 година) износе 21,5 ЕЈ и 455.000 милиона евра, док се дугорочно гледано (за период од 15 година) може уштедети 46 ЕЈ енергије и 973.000 милиона евра. Набројане су индустрије у којима прахови калаја и волфрама налазе своју највећу примену, а то су пре свега аутомобилска, војна, авио индустрија и друге. Истакнут је смер изучавања синтезе сулфида калаја и волфрама у циљу оптимизације процеса синтезе и добијања прахова одговарајуће гранулометрије, морфологије, као и хемијског и фазног састава намењеног за примену у триболошким материјалима.

У другом поглављу, **Теоријски део**, дефинисани су фрикциони материјали, описана је важност одабира компонената које га чине и дата је њихова примена. Приказан је и процентуални удео компонената у фрикционом материјалу кочионих плочица као дела кочионог система где је употреба фрикционих материјала неизоставна. Посебна пажња је посвећена врсти и количини чврстог мазива (прах сулфида калаја) у фрикционим материјалима као адитива који стабилизује постојећи коефицијент трења и смањује хабање, буку и вибрације које се нарочито јављају при високим температурама. Приказани су детаљни дијаграми стања за системе Sn – S и W – S. Дате су важније карактеристике калај(IV)-сулфида (SnS_2) и волфрам(IV)-сулфида (WS_2). Приказана је

њихова кристална структура и механизам ламинарног подмазивања. Наглашен је значај употребе праха WS_2 у мазивима, као превлаке и у деловима који су изложени трењу и хабању, како са еколошког аспекта тако и са аспекта изузетних триболошких својстава које поседују.

У трећем поглављу, **Преглед литературних резултата**, приказана је доступна научна литература везана за процес синтезе сулфида калаја и волфрама усмерена на побољшање процеса синтезе. Описане су методе синтезе сулфида калаја: хидротермална и солвотермална метода, механохемијска синтеза, микроталасна синтеза, хемијска депозиција из парне фазе, спреј пиролиза и пирометалуршка метода. Посебна пажња је посвећена пирометалуршкој методи која је и најзаступљенија од свих метода. Такође су описане методе синтезе сулфида волфрама: хидротермална синтеза, синтезе у чврстој и гасној фази, хемијска депозиција из парне фазе, високоенергетско млевење и пирометалуршка метода. Приказане су предности и мане датих поступака синтезе кроз фазни састав добијених продуката, нус производа процеса синтезе, као и гранулометрије и морфологије добијених честица крајњих производа.

У четвртом поглављу, **Експериментални део**, дефинисан је основни циљ истраживања у оквиру дисертације, дат је преглед основних материјала и хемикалија који су коришћени у експерименталном раду. Такође дата је карактеризација полазних прахова за синтезу сулфида калаја, опис апаратуре и начин синтезе прахова, као и методе које су коришћене за карактеризацију синтетисаних и полазних материјала. Описани су поступци синтезе сулфида калаја и волфрама са детаљним описом и приказом коришћене апаратуре. Такође је дат опис апаратуре и начин синтезе праха волфрам(VI)-оксида (WO_3), као и оптимизација процеса синтезе која је обухватила промену температуре и концентрације прекурсорског раствора. Овако синтетисан прах WO_3 је коришћен за синтезу WS_2 праха. Дефинисани су састави полазних мешавина за синтезу прахова сулфида калаја и волфрама, као и коришћени адитиви (NH_4Cl , Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, графит и CaF_2) за синтезу сулфида калаја и (NH_4Cl , CH_4N_2S , K_2CO_3 и графит) за синтезу сулфида волфрама. Такође је описана припрема полазне смеше прахова која је обухватила хомогенизацију и/или млевење прахова под дефинисаним условима. Дати су режими синтезе под којима су добијени прахови сулфида калаја и волфрама као и оптимизација процеса синтезе. У циљу доказивања могућности производње WS_2 праха и сулфида калаја у значајним количинама, који може да се пласира на тржиште и тиме оствари економски исплатив приход, приказан је увећани лабораторијски тест. Дата је функционализација добијених сулфидних прахова са оптимизацијом механичког третмана. Описане су методе коришћене за моделовање и симулацију процеса синтезе праха сулфида калаја и волфрама, карактеризацију полазних, као и синтетисаних прахова, испитивање триболошких својстава добијеног WS_2 праха.

У петом поглављу дисертације, **Резултати**, приказани су резултати термодинамичког моделовања синтезе сулфида калаја и волфрама, карактеризација синтетисаних и комерцијалних сулфидних прахова, као и карактеризација синтетисаног WO_3 праха. У термодинамичкој анализи приказане су могуће реакције код процеса синтезе предметних сулфида. Дат је приказ промене Гибсове енергије са температуром за разматране реакције у системима $Sn - S$ са адитивима и $WO_3 - S$ са адитивима у температурном опсегу ($0 - 1000\text{ }^{\circ}C$). Резултати детаљнијег испитивања утицаја адитива на процес синтезе сулфида калаја и волфрама приказани су на дијаграмима стабилности фаза за системе, $Sn - S$ са N , Cl , H , Na и C и $W - S$ са O , N , H , Cl , K и C . Ради бољег разумевања механизма самог процеса синтезе израђен је и Елингамов дијаграм за сулфиде калаја (SnS , SnS_2 и Sn_2S_3). Дат је приказ основних

термодинамичких података (топлотни капацитет, енталпија, ентропија и Гибсова енергија) за калај и његове сулфидне фазе (SnS , SnS_2 и Sn_2S_3) у температурном опсегу ($120 - 700\text{ }^\circ\text{C}$). Исти термодинамички подаци су дати и за WO_3 и WS_2 у температурном интервалу ($0 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$). Приказани су термодинамички подаци за трансформацију елементарног S у гасовити S_2 , као и вредности зависности напона паре сумпора од температуре при реакцијама трансформације сумпора у сваку од његових алотропских модификација ($\text{S}_2 - \text{S}_8$). У истом поглављу дати су резултати промене стандардне слободне енергије у функцији температуре за реакције до којих долази у систему $\text{Sn} - \text{S}$, са и без додатка графита и утврђен је редослед одигравања могућих разматраних реакција који је потврдио одабир графита као адекватног адитива са позитивним утицајем на процес синтезе сулфида калаја. Приказане су равнотежене количине фаза за систем $\text{Sn} - \text{S} - \text{C}$ у функцији температуре ($0 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$) и количине додатког адитива (графита), на основу чега је одређена оптимална количина графита (5% у односу на мешавину $\text{Sn}:\text{S}=60:40$). Приказани су резултати промене стандардне слободне енергије за реакције које се одигравају у систему ($\text{WO}_3 - \text{S} - \text{K}_2\text{CO}_3$) у функцији температуре на основу којих је утврђена доминантна реакција при којој се формира WS_2 као чврсти продукт реакције. Приказани су резултати равнотежене количине фаза за систем $\text{WO}_3 - \text{S} - \text{K}_2\text{CO}_3$ у функцији температуре ($0 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$) и количине додатког адитива (K_2CO_3). На основу резултата утврђена је оптимална количина K_2CO_3 од 5% у односу на мешавину $\text{WO}_3:\text{S}=70:30$. Приказана је термодинамичка анализа хидрометалуршког процеса синтезе праха WS_2 . Приказана је карактеризација синтетисаних прахова сулфида калаја (слободно насутог праха и пресованих узорака) и сулфида волфрама која је обухватила резултате испитивања губитака масе у току синтезе. Губици масе су одређени на основу разлике у маси узорака пре и после синтезе, на основу чега је коначно одређен садржај сумпора у узорцима, који је и потврђен елементарном анализом. Такође, за сваки од испитиваних система праћење су вредности температуре на контролном термопару и идентификоване су температуре егзотермних реакција које су код система третираних у пресованом стању ниже од температура на којима се одиграва егзотермна реакција система третираних у слободно насутом стању. Приказане су и основне карактеристике узорка код којих није дошло до интезивне егзотермне реакције, а које су урађене ради оптимизовања процесних параметра синтезе сулфида калаја. Дат је приказ дифрактограма синтетисаних прахова помоћу којих је одређен њихов фазни састав. Приказани су резултати анализе Риетвелдовом методом у случају синтетисаних WS_2 прахова којим је утврђен процентуални удео фаза у узорку. Приказане су SEM микрографије и EDX спектри честица синтетисаних прахова, након синтезе и након механичког третмана, чиме је утврђена њихова морфологија, облик кристала, као и њихов састав. Приказани су и резултати анализе величине честица синтетисаних сулфидних прахова, као и оксидних, WO_3 прахова. Дати су резултати испитивања триболошких својстава WS_2 праха. Коначно приказана је техно - економска анализа процеса синтезе WS_2 праха, која је уследила након експерименталне верификације изводљивости датог процеса. У оквиру овог поглавља је дат предлог новог триболошког материјала за суво подмазивање, као и приказ механизма подмазивања предложеним триболошким материјалом.

У поглављу, **Анализа резултата** сумирани су најзначајнији резултати проистекли из рада на овој дисертацији.

У поглављу, **Закључак** сумирани су изведени закључци из експерименталног дела дисертације.

У седмом поглављу, приказана је **Литература** која садржи све референце цитиране у дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Поступци пирометалуршких процеса синтезе сулфида калаја и волфрама су доминатни, али због великих губитака сумпора и стварања нус производа који су штетни за околину, осим загађења животне средине, губици сумпора имају за последицу немогућност стварања продуката одговарајућег фазног састава. Поступци синтезе сулфида калаја и волфрама који су разматрани у овој дисертацији, интензивно се проучавају и развијају пре свега у циљу добијања побољшаних материјала за триболошку примену који немају негативан утицај на животну средину и повећавају економски ефекат уштедама енергије које се остварују њиховом применом. У оквиру дисертације је успешно извршена синтеза сулфида калаја и волфрама применом једноставних физичко-хемијских и апаративно-техничких решења, што на основу прегледане литературе представља иновативан и оригиналан приступ у области синтезе сулфидних материјала за примену у триболошким материјалима. Применом предложеног поступка иновативног триболошког материјала мешају се прашови WS_2 различите гранулације и на такав начин се њиховом интеракцијом стварају синергијски ефекти који као резултат остварују позитиван утицај на триболошка својства материјала.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитирано је укупно 100 референци. Велики број цитираних референци представљају научни радови публиковани у последњих неколико година, што указује на актуелност теме ове докторске дисертације. Највећи број цитираних радова чине радови међународног значаја са тематиком релевантном за израду докторске дисертације. Међу цитираним референцама најзаступљеније су теме: метода синтезе прашова сулфида калаја и волфрама са нагласком на њихову триболошку примену. На основу пописане литературе и објављених научних радова кандидата Наташе Гајић, који су проистекли из докторске дисертације, може се закључити да је кандидат добро упознат са актуелним стањем предметне области истраживања које је тренутно доступно и описано у светској литератури.

О могућностима синтезе сулфида калаја и волфрама пирометалуршким поступком постоје подаци у научној литератури, али је мањи број радова са освртом на унапређење поступка синтезе предметних сулфида за примену у триболошким материјалима. Поменути податак потврђује актуелност теме докторске дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради докторске дисертације су коришћене различите научне методе за карактеризацију полазних и синтетисаних прашова сулфида калаја и волфрама, као и WO_3 праха као прекурсора за синтезу праха WS_2 . Анализа хемизма и одређивање термодинамичких параметара реакције (ΔG^0 - стандардна промена Гибсове енергије, ΔS^0 - стандардна промена ентропије, ΔH - стандардна промена енталпије), процеса синтезе сулфида извршена је у HSC Chemistry® софтверском пакету верзија 9.9.2.3. Моделовање процеса је обухватило конструисање дијаграма стабилности фаза

испитиваних система, као и проверу термодинамичких параметара сваке потенцијалне реакције која се теоријски одиграва у пећи у зависности од температуре (0 – 1000 °C). Фазни састав и степен кристализације синтетисаних прахова одређен је коришћењем рендгеноструктурне анализе са Риетвелдовом методом помоћу Powder Cell и RIFRANE® програма. Испитивање морфологије као и елементалног састава је испитано применом скенирајуће електронске микроскопије (SEM) са енергодисперзионом анализом (EDS). Хемијски састави синтетисаних прахова сулфида калаја су анализирани са индуковано спрегнутом плазмом - атомска емисиона спектроскопија (ICP - OES). Гранулометријски састав синтетисаних прахова је испитан по методи DIN ISO 3310-1, као и методом дифракције ласерске светлости. Триболошка својства праха сулфида волфрама су испитана на трибометру TPD - 95 при чему је коришћена стандардом прописана мерна и рачунарска опрема. Термијска анализа и промена масе узорака мерена су методом DTA / TGA анализе. Облик и величина честица су одређени помоћу софтвера за квантификацију визуелних информација (KVI).

3.4. Применљивост остварених резултата

Развијена је нова и једноставна метода за синтезу прахова сулфида калаја и волфрама применом једноставних физичко-хемијских и апаративно-техничких решења која се може применити и на друге врсте сулфида. Техно-економска анализа је показала да се добијени производ, прах WS_2 с обзиром на примењену технологију и техничке капацитете, заузимањем дела постојећег тржишта може комерцијализовати и учинити исплативим за производњу на домаћем тржишту.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Наташа М. Гајић, мастер инжењер технологије, је током израде докторске дисертације показала способност планирања и реализације експеримената. Изразите истраживачке квалитете исказала је коришћењем различитих инструменталних метода, а при анализи резултата показала је самосталност, систематичност и креативност. На основу досадашњег рада и постигнутих резултата кандидата, Комисија сматра да Наташа М. Гајић, поседује квалитете неопходне за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати добијени у оквиру дисертације представљају значајан допринос у развоју процеса синтезе сулфида калаја и волфрама, нарочито кроз оптимизацију процесних параметара употребом напредног термодинамичког предвиђања. Значајан допринос дисертације огледа се и у побољшаном начину синтезе у лабораторијским условима са технолошки оптималним бројем операција, што је резултирало добијањем прахова сулфида калаја и волфрама одређених морфолошких карактеристика на основу чега је дат предлог новог триболошког материјала за суво подмазивање. Експериментално истраживање је обухватило карактеризацију синтетисаних сулфида калаја и волфрама као и дефинисање оптималног састава полазних мешавина, у погледу одабира адекватног адитива за синтезу чији је утицај експериментално потврђен.

Најзначајнији научни доприноси дисертације огледају се у:

- Употреби термодинамичког предвиђања у одређивању оптималних параметара извођења процеса синтезе сулфида калаја и волфрама, односно оптимизацији процеса синтезе одабиром адекватног адитива (графита у случају синтезе сулфида калаја и K_2CO_3 у случају синтезе сулфида волфрама) који је повећао ефикасност самог процеса синтезе, која се огледа у повећаном садржају сумпора у синтетисаним праховима, који износи 31,85 % у случају сулфида калаја и 29,23 % у случају сулфида волфрама
- Посебно место у научном доприносу има повратна спрега која је назначена тиме да иновативна карактеризација материјала, праха сулфида волфрама, дефинише процес синтезе, а њихова корелација се одражава на добијање праха одговарајуће гранулометрије (10 - 950 nm) и морфологије (листићи груписани у агрегатима у облику цвета) која обезбеђује захтевана триболошка својства производа потврђена триболошким испитивањима.
- Напредном начину синтезе у лабораторијским условима, коришћењем поједностављене апаратуре, са технолошки оптималним бројем операција, што је резултирало смањењем потребног времена за процес синтезе сулфида калаја и волфрама.
- Функционализацији синтетисаног оксидног праха WO_3 идеално сферних честица субмикрометарских димензија (~200-300 nm) добијеног из раствора соли волфрама концентрације 10 mmol/dm³ на 650 °C.
- Оптимизацији механичког третмана чиме је омогућено добијање праха честица WS_2 субмикрометарских и нанометарских димензија.
- Предлогу новог триболошког материјала за суво подмазивање који представља мешавину честица праха WS_2 различитог гранулометријског састава (нано – микрометарски) и морфологије (листићи и сфере) чијом интеракцијом се стварају синергијски ефекти који као резултат дају побољшани прах за примену у триболошким материјалима.
- Предлогу сулфидне смеше за суво подмазивање која представља комбинацију добијених прахова сулфида калаја и волфрама и обезбеђује боља триболошка својства у односу на појединачне сулфидне системе.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Предметна дисертација је настала као резултат истраживања начина побољшања пирометалуршког поступка синтезе сулфида калаја и волфрама применом једноставних физичко-хемијских и апаративно-техничких решења,. Данас тржиште триболошких материјала има посебне захтеве за емисију штетних материја, као што су Pb, Cd, шестовалентни Cr, Sb и спречавање њихове миграције у животну средину. Генерално се сматра да се наведени елементи и њихова једињења, који се могу унети у организам путем хране или воде, веома тешко елиминишу из организма и могу имати и канцерогене ефекте. Из наведених разлога, већ дуго година постоји интерес да се пронађе замена опасних канцерогених компоненти триболошких материјала са мањим опасностима. Међу различитим праховима сулфида за примену у триболошким материјалима по еколошкој прихватљивости и триболошким својствима издвојили су

се сулфиди калаја и волфрама као репрезентативни представници различитих триболошких система. Економски допринос је у раној фази мерљив, те се и овај параметар сматра позитивним.

4.3. Верификација научних доприноса

1. Рад у врхунском међународном часопису (M21)

- 1.1. **N. Gajić**, Ž. Kamberović, Z. Anđić, J. Trpčevská, B. Plešingerova, M. Korać, Synthesis of tribological WS₂ powder from WO₃ prepared by ultrasonic spray pyrolysis (USP), *Metals*, 9 (3) (2019) str. 277, ISSN 2075-4701, IF (2018)= 2.259, DOI: 10.3390/met9030277

2. Рад у међународном часопису (M23)

- 2.1. **N. Gajić**, Ž. Kamberović, Z. Anđić, M. Korać, J. Trpčevská, M. Stamatović, Improving the synthesis process of tribological materials based on tin sulfides by adding graphite as additive, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 84 (4) (2019) str. 423-433, ISSN 0352-5139, IF (2018)=0.828, DOI: 10.2298/JSC180628102G

3. Рад у националном часопису међународног значаја (M24)

- 3.1. Ž. Kamberović, Z. Anđić, M. Korać, **N. Gajić**, B. Tomović, Integrated procedure for recycling and valorisation of useful components from secondary raw materials based on hard metals, *Metallurgical & Materials Engineering*, 23 (2) (2017) str. 167-181, ISSN 2217-8961, DOI: 10.30544/297

4. Саопштења са скупова међународног значаја штампана у целини (M33)

- 4.1. Ž. Kamberović, Z. Anđić, M. Korać, M. Gavrilovski, A. Mihajlović, N. Jovanović, **N. Gajić**, Synthesis of environmentally friendly multipurpose metal sulfide tribological materials, *47th International October Conference on Mining and Metallurgy*, Bor, Srbija, 4-6. oktobar (2015) str. 331-334, ISBN 978-86-7827-047-5

5. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

- 5.1. **N. Gajić**, Z. Anđić, J. Đokić, Ž. Kamberović, Synergistic solid lubricants system based on selected sulfides of technology metals, *16th Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering*, Beograd, Srbija, Decembar 6-8 (2017) str. 64, ISBN 978-86-80321-33-2
- 5.2. **N. Gajić**, Ž. Kamberović, Z. Anđić, J. Trpčevska, B. Plešingerova, J. Đokić, Synthesis of tribological WS₂ powder from oxide precursor, *20th annual conference YUCOMAT 2018*, Herceg Novi, Montenegro, 3-7. Septembar (2018) str. 71, ISBN 978-86-919111-3-3

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Наташе М. Гајић, мастер инжењера технологије, под насловом: „Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“, представља значајан и оригиналан научни допринос у области Металуршког инжењерства, што је и потврђено објављивањем радова у научним часописима међународног и националног значаја и саопштењима на међународним и националним скуповима. Комисија износи мишљење да је кандидат током израде

дисертације показао самосталност у научно-истраживачком раду и да су циљеви докторске дисертације у потпуности остварени.

Комисија сматра да приказани резултати истраживања доприносе поступцима синтезе сулфида калаја и волфрама пирометалуршким поступком. Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да поднеу докторску дисертацију, под називом „Синтеза и карактеризација прахова сулфида калаја и волфрама за примену у триболошким материјалима“ кандидата Наташе М. Гајић, мастер инжењер технологије, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, и да се након завршетка ове процедуре кандидат позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 04.11.2019. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Жељко Камберовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Марија Кораћ, научни саветник
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Jarmila Trpčevská, доцент
Универзитет у Кошицама, Факултет за материјале, металургију и рециклажу