

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/15

(Број захтева)

6.2.2024.

(Датум)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ

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

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

КАНДИДАТ Гвозден (Бранко) Јовановић

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму : Инжењерство материјала

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима

Технолошко инжењерство

из научне области:

Универзитет је дана 15.6. 2020. својим актом под бр. 61206-1707/1-20 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима

Име и презиме ментора: др Драгомир Глишић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 26. 12. 2023. одлуком факултета под бр. 35/313, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Ненад Радовић	редовни професор	Металуршко инжењерство	ТМФ
2.	Др Стефан Дикић	доцент	Металуршко инжењерство	ТМФ
3.	Др Бранислав Марковић	научни саветник	Металуршко инжењерство	ИТНМС
4.	Др Бојан Међо	ванредни професор	Инжењерство материјала	ТМФ
5.	Др Радица Прокић-Цветковић	редовни професор	Технологија материјала-Машински материјали за заваривање	Универзитет у Београду, Машински факултет

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

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 29. 12. 2023.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 1. 2. 2024.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 1. 2. 2024.

одлуком факултета под бр. 35/14, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Ненад Радовић	редовни професор	Металуршко инжењерство	ТМФ
2.	Др Бојан Међо	ванредни професор	Инжењерство материјала	ТМФ
3.	Др Стефан Дикић	доцент	Металуршко инжењерство	ТМФ
4.	Др Радица Прокић-Цветковић	редовни професор	Технологија материјала- Машински материјали за заваривање	Универзитета у Београду, Машински факултет
5.	Др Бранислав Марковић	научни саветник	Металуршко инжењерство	ИТНМС

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

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

др Петар Ускоковић, редовни професор

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

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



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/187
28. 11. 2022.

БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018") и члана 76. Статута Технолошко-металуршког факултета у Београду, као и захтева студента за продужење рока за завршетак студија Декан доноси

РЕШЕЊЕ

о продужењу рока за завршетак студија

Студенту **Гвозден Јовановић**, број индекса 2016/4006, уписан у прву годину докторских академских студија школске 2016/2017 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2025/2026 године.



Декан

Проф. др Петар Ускоковић

ДІVа

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. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 1.2.2024. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Ненад Радовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Стефан Дикић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Бранислав Марковић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд, др Бојан Међо, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Радица Прокић-Цветковић, редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микрولةгираним челицима“** коју је поднео **Гвозден Јовановић**, мастер инжењер металургије 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 Гвоздена Јовановића, под називом **„Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микрولةгираним челицима“** Одлуком број: 61206-1707/1-20 од 15.6.2020. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. **Gvozden Jovanović**, Dragomir Glišić, Stefan Dikić, Nenad Radović and Aleksandra Patarić. 2022, "Cleavage Fracture of the Air Cooled Medium Carbon Microalloyed Forging Steels with Heterogeneous Microstructures". Materials (Basel) 15 no. 5: 1760

DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15051760>, ISSN: 1996-1944 (**IF(2021)=3.748**)

2. **Gvozden Jovanović**, Dragomir Glišić, Stefan Dikić, Bojan Međo, Branislav Marković, Nikola Vuković, and Nenad Radović. 2023. "Determining the Role of Acicular Ferrite Carbides in Cleavage Fracture Crack Initiation for Two Medium Carbon Microalloyed Steels" Materials 16, no. 22: 7192.

DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16227192> ISSN: 1996-1944 (**IF(2023)=3.4**)

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

ДУ

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. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 1.2.2024. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Гвоздена Јовановића**, мастер инжењера металургије, са темом под називом „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима“, у саставу:

1. Др Ненад Радовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Бојан Међо, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Стефан Дикић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
4. Др Радица Прокић-Цветковић, редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет,
5. Др Бранислав Марковић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд.

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата ГВОЗДЕНА ЈОВАНОВИЋА, мастер инж. металургије.

Одлуком бр. 35/313 од 26.12.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Гвоздена Јовановића, под насловом „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима“. После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

13. октобра 2016. Гвозден Б. Јовановић, мастер инж. металургије, уписао је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Инжењерство материјала.

24. фебруара 2020. кандидат подноси Технолошко-металуршком Факултету пријаву теме за израду докторске дисертације под називом: „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома код средњеугљеничних микролегираних челика“.

5. марта 2020. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета на седници доноси Одлуку бр. 35/41 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације, у саставу: др Драгомир Глишић, доцент ТМФ-а; др Ненад Радовић ред. проф. ТМФ-а; др Бојан Међо, доцент ТМФ-а; др Александра Патарић, научни сарадник ИТНМС.

28. маја 2020. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета на седници доноси Одлуку бр. 35/89 о прихватању Извештају Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације, под насловом „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима“ и за ментора именује др Драгомира Глишића доцента ТМФ.

15. јуна 2020. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници доноси Одлуку бр. 61206-1707/1-20 о давању сагласности на одлуку Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета о прихватању теме докторске дисертације кандидата Гвоздена Јовановића под називом: „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима“ и потврђује др Драгомира Глишића за ментора.

26. децембра 2023. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета на седници доноси Одлуку бр. 35/313 о именовању Комисије за оцену докторске дисертације, у саставу: др Ненад Радовић ред. проф. ТМФ; др Стефан Дикић, доцент ТМФ; др Бојан Међо, ван. проф. ТМФ; др Бранислав Марковић, научни саветник, ИТНМС; и др Радица Прокић Цветковић ред. проф. Машинског Факултета Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Инжењерство материјала, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор др Драгомир Глишић, ванредни професор на Катедри за Металуршко инжењерство Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, на основу објављених научних публикација и досадашњег научног искуства, компетентан је да руководи изработом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Гвозден Јовановић рођен је 2.11.1990. у Београду. Основну школу као и гимназију завршио је у Београду, а 2010. године уписао је основне студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер инжењерства материјала. Током студија бавио се волонтерским радом у оквиру удружења студената технике БЕСТ Београд, али је узимао учешћа и у раду студентског парламента факултета. На последњој години студија изабрао је профил Метални материјали и двомесечну стручну праксу обавио у Немачкој, Фрајбергу, јесени 2014. године. Дипломирао је 18.2.2015. на тему „Одређивање критичног напона за лом цепањем средњеугљеничног микролегираног челика применом методе коначних елемената“. По дипломирању показао је интерес за бављење научно истраживачким радом и 2015. уписао мастер студије на смеру Металуршко инжењерство на Технолошко-металуршком факултету у Београду. Мастер рад је био на тему „Утицај режима отпуштања на микроструктуру и механичка својства нисколегираног челика за побољшање“, који је одбранио септембра 2016.

Као мастер инжењер металургије уписао је докторске студије на смеру Инжењерство материјала на Технолошко-металуршком факултету 2016. године. Почетком 2017. примљен је на шестомесечни пробни рад на одељење металургије у сектор за материјале и заштиту Војнотехничког института у Београду, с намером да се обучи за рад у лабораторији за механичка испитивања. Априла 2018. године примљен је у Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (ИТНМС), у сектор за металургију и заштиту животне средине. Током рада у ИТНМС бавио се синтезом неорганских соли и пигмената (олова, никла и литијума), као и прелиминарним студијама испитивања хидрометалуршког фиторударења амонијум-никл-сулфат хексахидрата. Такође преузео је рад на софтверу за симулацију ливења и очвршћавања NOVACAST, као и програма за дигиталну обраду и квантификовано мерење фотографија MIPAR. У сарадњи са колегама објавио се више радова из области лужења, рециклаже, обраде вода и испитивања материјала. Као део научно-истраживачког тима узео је учешћа у неколико пројеката, које је финансирало ресорно министарство Републике Србије.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Гвоздена Јовановића, мастер инж. металургије, под називом: „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима“, написана је на српском језику на 127 страна, од којих је 111 страна нумерисано, садржи 97 слика, 19 табела и 153 литературних навода. Наведена докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Претходна

истраживања, Експериментални део, Резултати, Дискусија, Закључак, Литература, Биографија аутора, као и сажетак на српском и енглеском језику. Дисертација такође садржи и прилоге са Изјавом о ауторству, Изјавом о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјавом о коришћењу, као и Оцену извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. Наведена докторска дисертација по свом облику и садржају испуњава прописе и стандарде за докторске дисертације које се бране на Универзитету у Београду.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У оквиру поглавља УВОД обрађена је примена средњеугљеничних микролегираних челика са посебним освртом на утицај одређених легирајућих елемената на формирање микроструктуре. Такође је описано одвијање транскристалног кртог лома и утицај микроконституената на микромеханизам лома.

Поглавље ПРЕТХОДНА ИСТРАЖИВАЊА је подељено у две целине: Микроструктура средњеугљеничних микролегираних челика и Крти транскристални лом у средњеугљеничним челицима. Целина Микроструктура средњеугљеничних микролегираних челика подељена је на два дела. Одељак Трансформационо понашање средњеугљеничних микролегираних челика обрађује принципе термичке обраде и утицај легирајућих елемената на развој микроструктура сходно примењеној термичкој обради са посебним акцентом на легирање са Ti и V. Одељак Морфологија микроконституената у средњеугљеничним микролегираним челицима обрађује карактеристике и својства микроконституената који настају континуираним хлађењем средњеугљеничних микролегираних челика са посебним освртом на ацикуларни ферит и његовим паралелама са беинитним микроконституентом. Целина Крти транскристални лом у средњеугљеничним челицима подељена је на три дела. Одељак Микромеханизам кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима описују механизам и критичне параметре лома механизмом цепања, као и механизме иницијације и пропагације микропрслине са посебним освртом на микролегиране челике и структуру ацикуларног ферита. Одељак Утицај микроструктуре на крти лом у средњеугљеничним микролегираним челицима укратко описује утицај појединих микроконституената на иницијацију и пропагацију лома механизмом цепања. Одељак Моделовање транскристалног лома наводи примере примена разноврсних компјутерских модела на крти транскристални лом и начине на који се они повезују са микроструктуром испитиваног материјала.

У поглављу ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО наведени су следећи одељци: Материјал, Термичка обрада, Микроструктурна испитивања, Испитивање савијањем у четири тачке, Испитивање једноосним затезањем, Фрактографија, Моделовање методом коначних елемената, Дигитална анализа слике и стереолошка анализа микроструктуре, Одређивање напона лома и ефективне енергије површине. У одељку Материјал, дат је хемијски састав и полазно стање испитиваних челика. У делу Термичка обрада, описан је режим хомогенизације и аустенитизације заједно са условима хлађења испитиваних челика. У делу Микроструктурна испитивања, приказане су методе за припрему узорка за металографију и методе испитивања микроструктуре помоћу светлосне и скенирајуће електронске микроскопије. У одељку Испитивање савијањем у четири тачке, дати су услови испитивања савијања у четири тачке по методи Грифитса и Овена. У одељку Испитивање једноосним затезањем, описан је поступак испитивања на уређају за механичка испитивања. У одељку Фрактографија описано је испитивање преломљених површина помоћу скенирајуће електронске микроскопије са енергетском дисперзивном рендгенском спектроскопијом. Одељак Моделовање методом коначних елемената

описује примењени модел помоћу софтверског пакета ABAQUS и подељено је у четири дела: Креирање склопа модела испитивања савијањем у четири тачке; Конструисање мреже модела; Гранични услови модела; Подешавање корака помераја модела савијања у четири тачке. У одељку Креирање склопа модела описан је поступак партиционисања модела зарад формирања глобалног и подмодела. Дат је детаљан опис формирања мреже модела и дефинисање граничних услова. У делу Дигитална анализа слике и стереолошка анализа микроструктуре, описан је приступ аутоматској квантитативној анализи коришћењем софтверског програма MIPAR. Дати су рецепти коришћени за одређивање удела компоненти микроструктуре као и мерења дебљине цементитних плочица у ацикуларно феритном микроконституенту. У делу Одређивање напона лома и ефективне енергије површине, објашњено је како се помоћу Грифитова једначине израчунава ефективне површинске енергије стварања нове површине при лому.

Поглавље РЕЗУЛТАТИ подељено је на пет целина: Микроструктура узорака V- и TiV-челика; Квантитативна анализа микроструктуре; Фрактографија узорака V- и TiV-челика; Резултати механичких испитивања; Моделовање савијања у четири тачке методом коначних елемената. Целина Микроструктура узорака V- и TiV-челика, подељена је на два дела Светлосна микроскопија узорака V- и TiV-челика, и Скенирајућа електронска микроскопија V- и TiV-челика. Одељак Светлосна микроскопија узорака V- и TiV-челика, упоредно приказује сличности и разлике између микроконституената и феномена у издвојеним микроструктурама добијених континуираним хлађењем ова два челика. Одељак Скенирајућа електронска микроскопија V- и TiV-челика, такође приказује неке сличности и разлике видљиве на већим увећањима али се претежно бави анализом и идентификацијом честица секундарних фаза како у полираном тако и нагризеном стању. Дата је детаљна EDS анализа свих честица које су детектоване у испитиваним челицима. Целина Квантитативна анализа микроструктуре, такође је подељена на два дела – Запремински удео микроструктурних компоненти и Дебљина цементитних плочица. Одељак Запремински удео микроструктурних компоненти, приказује удео појединих компоненти микроструктуре. Одељак Дебљина цементитних плочица, приказује резултате квантитативне анализе микроструктуре два испитивана челика помоћу програма MIPAR. Целина Фрактографија узорака V- и TiV-челика приказује резултате анализе преломних површина помоћу SEM. Целина Резултати механичких испитивања састоји се из два дела – Криве затезања на -196°C и Силе и номинални напони лома при савијању у четири тачке на -196°C . Први приказује деформационе криве за испитиване челике, које користе као улазни подаци механичког понашања материјала при моделовању коначним елементима. Други одељак приказује експерименталне вредности силе добијене при испитивању савијањем у четири тачке на температури течног азота, које такође представљају улазне параметре модела. Целина Моделовање савијања у четири тачке методом коначних елемената, подељена је на три дела: Глобални модел и подмодел; Критичне вредности напона и деформација; Вредности ефективне површинске енергије. У одељку Глобални и подмодел, приказане су добијене расподеле напона и деформације користећи глобални модел и подмодел са назначеним сличностима и разликама између испитивана два челика. У одељку Критичне вредности напона и деформација, приказане су и упоредне вредности критичних напона и деформација. У одељку Вредности ефективне површинске енергије, приказане су израчунате вредности ефективне површинске енергије Такође се пореде резултати 2D модела уз претпоставку раванског стања деформације и 3D модела са подмоделом.

Поглавље ДИСКУСИЈА подељено је на четири дела: Микроструктура континуирано хлађених узорака V- и TiV- микролегираних челика; Фрактографска анализа узорака V- и TiV- челика; Механичко понашање V- и TiV- челика на температури течног азота и

Одређивање критичних параметара лома. Део Микроструктура континуирано хлађених узорака V- и TiV- микролегираних челика, бави се анализом резултата испитивања микроструктуре, честица секундарних фаза и расподеле дебљина цементитних плочица у ацикуларном фериту. Пошто TiV- челик поседује већу прокаљивост од V-челика у смислу утицаја на одлагање дифузионих процеса то је допринело већем уделу ацикуларног ферита у његовој микроструктури. Кључни налаз по питању честица секундарних фаза пронађен је на полираној површини TiV-челика. Откривене су две мање изоловане честице TiN/VN величине око 5 μm , једна издужена и једна полигонална. Одмах уз њих налази се већа мултифазна честица величине 10 μm , она се у основи састоји од Al_2O_3 и слоја MnS који је у потпуности обухваћен са TiN/VN. На основу EDS спектра индиректно је потврђено присуство честица TiN и VN на другим укључцима, како у TiV- тако и у V- челику. На основу дистрибуција дебљина карбида закључује се да код V-челика она више одговара расподели цементита карактеристичној за горњи беинит, док код TiV-челика више одговара мешавини горњег и доњег беинита. Пошто се испитиване микроструктуре састоје од хаотичне морфологије ацикуларног ферита разумно је претпоставити да корелација у дистрибуцијама дебљина цементита наговештава да при континуираном хлађењу са температура аустенитизације структура TiV-челика може поседовати већи удео помешане морфологије горњег и доњег ацикуларног ферита у него микроструктура V-челика. Део Фрактографска анализа узорака V- и TiV- челика, разрађује изглед преломне површине, позицију и димензије иницијалних пљосни потенцијалних места иницијације лома, учешће честица секундарних фаза у механизму иницијације лома, појаву секундарних микропрслина као и природу простирања прслине видљиве на уздужном пресеку. Путања простирања прслине је комплексна због великог броја финих пљосни насталих цепањем ацикуларног ферита и услед спајања са секундарним прслинама које настају уздуж и попречно преломне површине. Ни један од идентификованих укључака није утврђен као извор иницијације лома, док приближне димензије почетних пљосни цепања указују на то да је микромеханизам истоветан у оба микролегирана челика. Одељак Механичко понашање V- и TiV- челика на температури течног азота, показао је да се способност деформације на температури течног азота испитиваних челика огледа кроз релативно велике вредности укупног номиналног издужења. Део Одређивање критичних параметара лома бави се анализом добијених вредности критичних параметара коришћењем глобалног модела и подмодела, валидацијом употребе подмодела, поређењем критичних параметара лома са резултатима претходних студија, разматрањем свих могућих механизма иницијације лома, као и тумачењем резултата добијених ефективних површинских енергија кртог транскристалног лома. Утврђен је микромеханизам лома код испитиваних челика са структуром ацикуларног ферита и значајним уделом перлита, као Милер-Смитов механизам, по којем иницијација лома започиње ломом перлитних колонија под дејством великих пластичних деформација при самом врху машинског зареза.

У поглављу ЗАКЉУЧЦИ су таксативно наведена најважнија сазнања до којих је аутор дошао радом на овој дисертацији. На крају дисертације наведена је коришћена ЛИТЕРАТУРА.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема ове дисертације је проистекла из константних захтева индустријског сектора за производњом челика намењених нафтној индустрији, ауто индустрији и тешкој машиноградњи који ће имати захтеване особине и знатно ниже трошкове производње,

побољшану енергетску ефикасност и ниже трошкове одржавања у току експлоатације. Моделовањем је могуће повезати вредности напона и деформације које се не могу директно читавати са уређаја за механичка испитивања са микроструктурним елементима попут величине честица или микроконституената. Са повећањем комплексности микроструктуре отежава се статистичка корелација структурних елемената модела са механичким својствима делова микроструктуре. Савремене технике квантитативне дигиталне анализе доприносе могућности повезивања мултифазне микроструктуре са критичним напонима и деформацијама које се добијају кроз моделовање коначним елементима. Овај савремени приступ зато има велики значај, јер је главни циљ овог рада да се прошири разумевање и детаљније опише механизам настајања и простирања микропрслине унутар континуирано хлађених средњеугљеничних микролегираних челика са доминантном структуром ацикуларног ферита.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради ове докторске дисертације, кандидат је искористио 153 литературних навода. Треба напоменути да је, поред значајног броја радова објављених у међународним часописима новијег датума, кандидат користио референтне зборнике радова са конференција на којима су промовисане истраживачке активности везане за транскристални лом микролегираних челика. Такође, веома подробно је приказан развој и примена моделовања коначним елементима упареног са дигиталном аутоматском квантитативном анализом микроструктуре који су били основа за одређивање и опис лома механизмом цепања. Овај приступ је омогућио кандидату да на јасан и прецизан начин изложи како полазне ставове и недоумице, тако и да постави смернице за своја истраживања у оквиру ове докторске дисертације. Тиме је омогућена интерпретација добијених резултата на начин да су резултати ове дисертације актуелни са истраживањима колега у свету и да допуњавају знања из области моделовања транскристалног кртог лома и описивања лома микромеханизмом цепања у микролегираним челицима.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Термичка обрада узорака извршена је у високотемпературној електроотпорној пећи у заштитној атмосфери аргона. Микроструктурна испитивања су извршена светлосном микроскопијом и скенирајућом електронском микроскопијом опремљеном уређајем за енергетски дисперзивну спектроскопију X-зрака (EDS), који је коришћен за детекцију и анализу честица секундарних фаза. Компресиони тестови савијања у четири тачке као и тестови једноосног затезања вршени су на серво-хидрауличној машини за испитивање Instron 1332 опсега 100kN. Машинском обрадом узорци су обрађени на димензије за механичка испитивања, која су вршена на температури течног азота чиме су загарантовани услови кртог лома за испитивање микролегиране челике. За квантитативну анализу микрофотографија је коришћен је софтверски програм MIPAR које је базиран на MATLAB софтверском окружењу. За моделовање методом коначних елемената употребљен је софтверски програм Simulia Abaqus FEA који је део Dassault Systèmes производа.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати указују да могућност остваривања микроструктура средњеугљеничних микролегираних челика за ковање у којима доминира ацикуларни ферит, чиме се може постићи повећање жилавости ових челика. Такође, приказана улога честица секундарних фаза, посебно крупних честица TiN у иницијацији лома, које су неизбежне у рафинацији и контролисању величине зрна, мења се у присуству ацикуларног ферита, што указује на могућност оптимизовања хемијског састава ових челика, у смислу смањења додатка легирајућих елемената, што у крајњем смањује трошкове производње ових челика. Посебно треба истаћи још два аспекта истраживања у оквиру ове докторске дисертације – примена методе коначних елемената и креирање модела који дају прецизније вредности критичних параметара, који се могу користити у развоју статистичких модела који предвиђају вредности параметара механике лома; и као друго, примену металографског поступка који у крајњем, омогућава добијање квалитетних микрофотографија за аутоматизацију поступка квантитативне анализе микроструктуре ових челика, које одликује присуство ситнозрне структуре ацикуларног ферита.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу досадашњег рада на истраживачким пројектима и остварених научних резултата током докторских студија, Гвозден Б. Јовановић, мастер инж. металургије, постигао је значајне резултате, показавши висок степен самосталности и способности за научно-истраживачки рад, укључујући претраживање и критичку анализу литературе, реализацију експеримената, као и самосталну анализу и дискусију резултата. До сада је као коаутор објавио четири рада у врхунском међународном часопису (M21), један рад у истакнутом међународном часопису (M22), два рада у међународном часопису (M23), један рад у часопису међународног значаја верификован посебном одлуком (M24), пет радова у водећем националном часопису (M51). Такође, коаутор је осам саопштења штампана у целости (M33) и петнаест саопштења штампана изводу на научним скуповима међународног значаја (M34). На основу изложеног Комисија сматра да је кандидат Гвозден Б. Јовановић поседује квалитете неопходне за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси проистекли из истраживања у докторској дисертацији кандидата Гвоздена Јовановића су:

- Утврђен је утицај легирајућих елемената Ti и V на издвајање микроконституената и њихов удео у микроструктури приликом континуираног хлађења са температура које одговарају топлотном ковању. Све микроструктуре су документоване и објашњене.
- Утврђено је да иницијација кртог транскристалног лома у V- и TiV- челику одговара Милер-Смитовим механизму лома перлитних колонија при врху машинског зареза епрувете за савијање у четири тачке у зони велике пластичне деформације
- Утврђена је величина и расподела плочица цементита унутар ацикуларног ферита као и њихова улога у иницијацији секундарних микропрслина у зони максималног главног напрезања.

- Утврђено је присуство честица TiN у V- и TiV- челику и потврђена њихова неактивност у иницијацији микропрслина у зони максималног главног напрезања али и у они велике пластичне деформације.
- Детаљно је наведен поступак израде модела епрувете по Грифиту и Овену методом коначним елементима зарад симулације савијања у четири тачке и разјашњен поступак корелације моделовања са експерименталним резултатима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Модификовани поступак припреме узорака за металографију је примењен у циљу да се посебно истакну границе плочица ферита и крупнијих плочица цементита по њиховим границама унутар ацикуларног ферита. Показало се да је овим омогућено да се начине микрофотографије помоћу светлосног микроскопа које се могу употребити за дигиталну анализу слике, сегментацију појединих микроконституената и фаза, те аутоматску квантитативну анализу помоћу одговарајућег софтвера. Тиме је постигнуто да се прецизније одреди запремински удео компонената микроструктуре у присуству ацикуларног ферита, што је раније представљало захтеван поступак. Такође, омогућено је и да се испита велики број узорака и тиме добије већа тачност резултата квантитативне микроструктурне анализе. Резултати су потврдили разлике у уделу ацикуларног ферита између V- и Ti-V-микролегираног челика, као и да су они последица утицаја садржаја легирајућих елемената на дифузионе процесе трансформације континуираног хлађења са температуре аустенитизације. Такође, као последица разлике у трансформационом понашању, примењене методе су омогућиле одређивање просечних вредности дебљине цементитних плочица унутар ацикуларног ферита, како би била анализирана њихова улога у микромеханизму кртог транскристалног лома.

Анализом помоћу скенирајуће електронске микроскопије (SEM) упарене са уређајем за енергетску дисперзивну рендгенску спектроскопију (EDS) извршена темељна анализа присутних фаза у честицама талоба, такође са циљем да се анализира њихова улога у иницијацији кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима. Утврђено је присуство честица на бази MnS и Al_2O_3 које могу садржи и слојеве V(C,N), затим CuS и $Ca_2Al[AlSiO_7]$ честица. Такође пронађене су и честице TiN у Ti-V-микролегираном челику, често и као супстрат за таложење честица V(C,N). Посебна пажња је посвећена крупним честицама TiN, за које је познато да су често место иницијације кртог транскристалног лома. Међутим, анализом преломних површина није утврђено да су ове честице биле узрок лома. Овакав резултат се везује за улогу ацикуларног ферита у структури ових челика.

Резултати фрактографске омогућили су утврђивање места и узрока иницијације кртог транскристалног лома, као и утврђивање геометријских параметара као улазних података за моделовање методом коначних елемената. Прорачун критичног напона лома и ефективне површинске енергије помоћу методе коначних елемената утврђен је микромеханизам кртог транскристалног лома у овим челицима. Анализа попречног пресека преломљених узорака дала је увид у улогу појединих елемената микроструктуре, посебно ацикуларног ферита и његовог утицаја на путање прслине.

Утврђене вредности критичних параметара лома омогућавају анализу утицаја ацикуларног ферита на измештање иницијације лома са крупнијих честица TiN на феритно-перлитне агрегате сличне кристалографске оријентације, и то у уском подручју близу машинског зареза на епрувети за савијање у четири тачке, у зони великих пластичних деформација.

Вредности ефективне површинске енергије лома је у складу са резултатима претходних истраживања. Такође, указују на извештан допринос ацикуларног ферита на повећање критичних параметара лома, као и улогу перлита који донекле маскира овај ефекат.

Сви наведени резултати указују да су истраживања практично у потпуности спроведена према плану за израду докторске дисертације и да су омогућили да се дође до остварења циљева који су предвиђени у пријави теме.

4.3. Верификација научних доприноса

Рад у врхунском међународном часопису (M21):

1. **Gvozden Jovanović**, Dragomir Glišić, Stefan Dikić, Nenad Radović and Aleksandra Patarić. 2022, "Cleavage Fracture of the Air Cooled Medium Carbon Microalloyed Forging Steels with Heterogeneous Microstructures". Materials (Basel) 15 no. 5: 1760
DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15051760>, ISSN: 1996-1944 (**IF(2021)=3.748**)

2. **Gvozden Jovanović**, Dragomir Glišić, Stefan Dikić, Bojan Međo, Branislav Marković, Nikola Vuković, and Nenad Radović. 2023. "Determining the Role of Acicular Ferrite Carbides in Cleavage Fracture Crack Initiation for Two Medium Carbon Microalloyed Steels" Materials 16, no. 22: 7192.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16227192> ISSN: 1996-1944 (**IF(2023)=3.4**)

3. Dikić Stefan, Dragomir Glišić, Abdunnaser Fadel, **Gvozden Jovanović**, and Nenad Radović. 2021. "Structure and Strength of Isothermally Heat-Treated Medium Carbon Ti-V Microalloyed Steel" Metals 11, no. 7: 1011.
DOI: <https://doi.org/10.3390/met11071011>, ISSN: 2075-4701 (**IF(2021)= 2.695**)

Рад у међународном часопису (M23):

4. Stefan Dikić, Dragomir Glišić, Abdunnaser Fadel, **Gvozden Jovanović** and Nenad Radović. 2022, "Physical simulation of finish rolling of microalloyed steels in isothermal conditions. Chem Ind 76 no. 4.
DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.2298/HEMIND220816018D>, ISSN: 0367-598X (**IF(2021)=0.774**)

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима“, аутора Гвоздена Јовановића, број индекса 2016/4006, утврђено је да подударање текста износи 4%. Овај степен подударности последица је преклапања општих места, личних имена и назива, навода слика и табела, дефиниција, устаљених фраза и стручних термина и израза. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Инжењерство материјала, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Докторска дисертација је рађена под менторством др Драгомира Глишића, ванредног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. На основу анализе остварених резултата докторске дисертације под називом „Микромеханичко моделовање кртог транскристалног лома у средњеугљеничним микролегираним челицима“, кандидата Гвоздена Јовановића, Комисија сматра да ова докторска дисертација представља значајан и оригиналан научни допринос у металургији микролегираних челика за ковање. Предмет и циљ истраживања су јасно наведени и остварени, док истраживања прате актуелне трендове и доприносе новим сазнањима у оквиру ове проблематике.

Комисија стога сматра да докторска дисертација у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да усвоји овај Извештај и да га, заједно са докторском дисертацијом под насловом „МИКРОМЕХАНИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ КРТОГ ТРАНСКРИСТАЛНОГ ЛОМА У СРЕДЊЕУГЉЕНИЧНИМ МИКРОЛЕГИРАНИМ ЧЕЛИЦИМА“, кандидата Гвоздена Јовановића, изложи на увид јавности у законски предвиђеном року, а затим и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 28.12.2023.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Ненад Радовић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

др Стефан Дикић, доцент,
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

др Бранислав Марковић, научни саветник,
Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина (ИТНМС) Београд

др Бојан Међо, ванредни професор,
Универзитета у Београд, Технолошко-металуршки факултет

др Радица Прокић-Цветковић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет