

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/21
(Број захтева)
02.02.2023.
(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 Стефан (Мирослав) Дикић
(име, име једног од родитеља и презиме)

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

пријавио је докторску дисертацију под називом:
Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микролегираних челика

Металуршко инжењерство			
из научне области:			
Универзитет је дана	10.12. 2021.	својим актом под бр.	61206- 4936//2- 21
која је гласила:		дао сагласност на предлог теме докторске дисертације	

Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микролегираних челика

Име и презиме ментора: др Драгомира Глишић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет
Име и презиме ментора2: др Сања Мартиновић, виши научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију, Иститут од националног значаја за Републику Србију

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 22.11.2022. одлуком факултета под бр. 35/278 , у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Ненад Радовић	редовни професор	Металургија	ТМФ
2.	Др Миљана Поповић	редовни професор	Металургија	ТМФ
3.	Др Радица Прокић-Цветковић	редовни професор	Технологија материјала	Машински факултет

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

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 23.12.2022.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 02.02.2023.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 02.02.2023.

одлуком факултета под бр. 35/23, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Ненад Радовић	редовни професор	Металургија	ТМФ
2.	Др Миљана Поповић	редовни професор	Металургија	ТМФ
3.	Др Радица Прокић-Цветковић	редовни професор	Технологија материјала	Машински факултет

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. 20/185

28. 11. 2022

год.

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 **Стефан Дикић**, број индекса 2016/4021, 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

ДІВа

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 02.02.2023. 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 Миљана Поповић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Радица Прокић-Цветковић, редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микрولةгираних челика**“ коју је поднео **Стефан Дикић**, 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 Стефана Дикића, под називом „**Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микрولةгираних челика**“ Одлуком број: 61206-4936/2-21 од 10.12.2021. године.
Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. **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)

Категорија M23:

1. **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)

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

ДV

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 02.02.2023. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Стефана Дикића**, мастер инжењера, са темом под називом „Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микрولةгираних челика“, у саставу:

1. Др Ненад Радовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Миљана Поповић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Радица-Прокић Цветковић, редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет.

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: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата СТЕФАНА М. ДИКИЋА, мастер инж. металургије.

Одлуком бр. 35/278 од 22.11.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Стефана М. Дикића, под насловом „ТЕРМОМЕХАНИЧКА ПРЕРАДА И ТРАНСФОРМАЦИОНО ПОНАШАЊЕ МИКРОЛЕГИРАНИХ ЧЕЛИКА“. После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

13.10.2016.– Стефан М. Дикић, мастер инж. технологије, уписао је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Металуршко инжењерство.

10.09.2021. –Кандидат подноси Факултету пријаву теме за израду докторске дисертације под називом: „Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микрولةгираних челика“.

20.09.2021.–Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета на седници доноси Одлуку бр. 35/245 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације, у саставу: др Драгомир Глишић, доцент ТМФ-а, др Сања Мартиновић, виши научни сарадник ИХТМ, др Ненад Радовић ред. проф. ТМФ-а, др Миљана Поповић, ред. проф. ТМФ-а и др Радица Прокић Цветковић ред. проф. Машинског Факултета Универзитета у Београду.

18.11.2021.–Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета на седници доноси Одлуку бр. 35/301 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације, и за менторе именују др Драгомира Глишића, доцента ТМФ-а и Сању Мартиновић, вишег научни сарадник ИХТМ.

10.12.2021 – Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници доноси Одлуку бр. 61206-4936/2-21 о давању сагласности на одлуку Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета о прихватању теме докторске дисертације кандидата Стефана М. Дикића под називом: „Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микрولةгираних челика“ и потврђује за менторе др Драгомира Глишића, доцента ТМФ-а и Сању Мартиновић, вишег научног сарадника ИХТМ.

22.11.2022.–Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета на седници доноси Одлуку бр. 35/278 о именовању Комисије за оцену докторске дисертације, у саставу: др Ненад Радовић ред. проф. ТМФ-а, др Миљана Поповић, ред. проф. ТМФ-а 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 Металуршко инжењерство, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Др Драгомир Глишић, ментор и доцент на Катедри за Металуршко инжењерство Технолошко-металуршког факултета

Универзитета у Београду, на основу објављених научних публикација и досадашњег научног искуства, компетентан је да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Стефан Дикић је рођен 18.08.1992. у Београду. Након завршене Тринаесте београдске гимназије (смер Природно-математички), 2011. године, уписао је Технолошко-металуршки факултет (смер Металуршко инжењерство), Универзитета у Београду где је дипломирао 2015. године. Завршни рад под називом „Утицај хомогенизационог жарења на микроструктуру хипоеутектичке Al-Cu легуре ливене DC поступком“ је одбранио са оценом 10. Основне академске студије је завршио са просечном оценом 9,43. Током основних студија пет пута је био добитник награде Панта Тутунџић за постигнут изузетан успех током студија. Од 2012-2015. године био је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Мастер академске студије уписао је школске 2015/16. на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Металуршко инжењерство, на ком је дипломирао 2016. године. Мастер рад под називом “Испитивање отпорности на дејство кавитације зоне утицаја топлоте завареног споја нерђајућег челика X10CrMoV9-1” је одбранио са оценом 10. Мастер студије је завршио са просечном оценом 9,75.

Школске 2016/17. године уписао је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Металуршко инжењерство. Све испите на докторским студијама је положио, са просечном оценом 10,0.

Након завршетка основних студија радно искуство је стекао у “Контрол инспект д.о.о. Београд” на пословима металографских испитивања и процене преосталог века трајања металних конструкција, испитивања металних материјала и заварених спојева методама без разарања, као и израде квалификације технологије заваривања и савијања. Од априла до августа 2017. године запослен је у “Ваљаоница бакра Севојно АД”, на пословима контроле погона ливнице, ваљаонице и пресаонице, након чега преузима позицију технолога прераде у пресаоници, где се бави избором параметара технолошких процеса, прописа и упутстава за прераду пресовањем и извлачењем, међуфазне контроле, оптимизације производних поступака, као и контролом и праћењем производних процеса. Од новембра 2017. године запослен је на Технолошко-металуршком факултету, катедра за Металуршко инжењерство на позицији асистента. Од 2020. године ангажован је као предавач на курсу за Међународне инжењере и технологе за заваривање (IWE, IWT) који се организују под покровитељством Друштва за унапређење заваривања Србије, у ГОША Институту.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Стефана М. Дикића, мастер инж. металургије, под називом: „Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микролегираних челика“, написана је на српском језику на 168 страна, од којих је 155 страна нумерисано, садржи 115 слика, 12 табела и 211 литературних навода. Наведена докторска дисертација садржи поглавља следећих назива: Увод, Претходна истраживања, Експериментални део, Резултати, Дискусија, Закључак, Литература, Биографија аутора, као и сажетак на српском и енглеском језику. Дисертација, такође, садржи 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 поглављу Увод размотрени су актуелни трендови развоја челика за актуелне и будуће намене, са посебним освртом на смањење масе и енергетску ефикасност произведених компоненти. Микролегирани челици представљају групу челика која своје особине постиже након контролисаног хлађења после пластичне прераде на повишеним и високим температурама. На овај начин се избегава накнадна термичка обрада, што омогућава значајно смањење трошкова.

Поглавље ПРЕТХОДНА ИСТРАЖИВАЊА је подељено у четири целине: Микролегирани челици, Фазне трансформације у средњеугљеничним челицима, Методе одређивања удела статичке рекристализације између провлака и Термомеханичка прерада микролегираних челика. У делу „Микролегирани челици“ је приказан развој идеје, истраживања и индустријске примене микролегираних челика до данас. Дати су принципи легирања, утицај свих легирајућих елемената и упоређена је ефикасност појединих талоба који повећавају чврстоћу и жилавост, са посебним акцентом на легирање са Nb, V и Ti. У делу „Фазне трансформације у средњеугљеничним челицима“ су описане све трансформације којима долази до разлагања аустенита. Посебно детаљно су обрађене све варијанте трансформација у беинитном подручју, пошто је један од циљева овог рада био утврђивање услова за добијање ацикуларног ферита, који поред задовољавајуће чврстоће обезбеђује и довољно велику жилавост, што је услов за њихову употребу у конструкцијама. У делу „Методе одређивања удела статичке рекристализације између провлака“ је дат критички приказ различитих методологија на бази механичке металографије које омогућавају оцену количине рекристалисане фазе на бази промене отпора деформацији у току провлака. Ова анализа је показала да у неким методама постоји субјективност, што је био мотив да се у оквиру ове дисертације размотри модификација или формирање нове методе која би овај недостатак смањила. У делу „термомеханичка прерада микролегираних челика“, обрађене су све технологије ваљања које су данас присутне у индустрији. За све технологије су дате физичке основе и објашњени су одговарајући захтеви који обухватају разлике у хемијском саставу и температурним режимима који се примењују у наведеним технологијама. Посебан осврт је дат на технологију контролисаног ваљања, која је примењена у ваљациони топловаљаних трака, пошто је потребно обезбедити спречавање рекристализације приликом завршног ваљања. Овај захтев је испуњен легирањем челика са ниобијумом, уз присуство титана које има за циљ да се контролише величина зрна на високим температурама и да се обезбеди добра заварљивост.

У поглављу ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО су, као саставни делови подпоглавља Материјал, Термичка обрада средњеугљеничних микролегираних челика, Термомеханичка прерада нискоугљеничних микролегираних челика и Структурно – механичка испитивања. У делу Материјал су дати хемијски састави обе класе микролегираних челика испитаних у овом раду, заједно са свим подацима везаним за добијање, ливење и претходну пластичну прераду у индустријским условима. У делу Термичка обрада средњеугљеничних микролегираних челика су дати подаци и план експеримента за хомогенизационо жарење. Хомогенизационо жарење је имало за циљ да се уклоне све сегрегације или присутна текстура које су настале у претходним операцијама. У овом делу је дат детаљан опис тестова изотермалног разлагања, на температурама 350, 400, 450, 500, 550 и 600°C. На свакој од ових температура је кинетика разлагања праћена преко 10-15 различитих времена задржавања. Такође, у циљу провере добијених резултата, за сваки тест су рађена два узорка. У делу Термомеханичка прерада нискоугљеничних микролегираних челика, описан је уређај за испитивање увијењем на повишеним температурама, који омогућава извођење тестова деформације у више провлака, пошто при увијању неће доћи до појаве пластичне нестабилности. Уређај је опремљен системом за аквизицију података и омогућава да се симулирају сви процесни параметри који су дефинисани технологијом ваљања (степен и брзина деформације по провлаку и дужина паузе између провлака одговарају вредностима из погона ваљациони топловаљаних трака). Са друге стране, будући да се сматра да се завршно ваљање одиграва у изотермалним условима, све симулације су рађене на

константној температури. Температуре тестова су одабране тако да једна буде на високим температурама (950°C), а три у температурном подручју где се очекује спречавање рекристализације (875, 850 и 825°C). У делу Структурно – механичка испитивања су описане стандардне процедуре металографских испитивања које обухватају сечење, брушење, полирање, нагризање и посматрање на металуршком микроскопу микроструктура при различитим повећањима. један део узорака је анализиран и на скенирајућем електронском микроскопу са уређајем за енергетски дисперзивну спектроскопију X-зрака (EDAX). Испитивање механичких својстава је урађено на машини за испитивање једноосним затезањем, на којој су вршени компресиони тестови и где је одређивана компресиона граница течења.

Поглавље РЕЗУЛТАТИ је подељено у две целине, за сваку врсту микролегираних челика посебно. У делу Трансформационо понашање средњеугљеничних микролегираних челика посебно су обрађене микроструктуре при изотермалном разлагању на свакој појединачној температури.

Разлагање аустенита при изотермалном разлагању на 350°C започиње трансформацијом аустенита на границама зрна издвајањем ферита игличасте/плочасте морфологије. Трансформација се услед великог потхлађења доминантно одвија на границама полазних аустенитних зрна уз малу количину интрагрануларно нуклеисаних ферита. Након 600s изотермално разлагање аустенита се завршава, при чему настаје беинитна микроструктура са малом количином грубих феритних зрна.

На 400°C изотермално разлагање аустенита такође започиње издвајањем ферита на границама аустенитних зрна. Са напретком трансформације уочава се да ферити који настају по границама аустенитних зрна има беинитну морфологију. Упоредо са развојем беинита уочава се симпатетичка нуклеација на преходно насталим плочицама ферита. Трансформација се завршава након ≈ 600 s при чему настаје доминантно беинитна микроструктура са одређеним уделом интрагрануларних ферита морфологије која се класификује као снопови ацикуларног ферита (STAF).

Изотермално разлагање аустенита на 450°C започиње формирањем ферита на границама зрна, док се трансформација пребације у унутрашњост зрна при чему доминантно настаје ацикуларни ферит који нуклеише на честицама које у основи чини манган сулфид. Нуклеација на честицама праћена је симпатетичком нуклеацијом. Трансформација се завршава након 600s при чему је микроструктура доминантно сачињена од ацикуларног ферита који допуњава мала количина дегенерисаног Видманштетеновог ферита.

На 500°C трансформација аустенита почиње издвајањем различитих феритних морфологија на границама аустенитних зрна. Доминантно морфологија на границама зрна је Видманштетенов ферит, док се трансформација у великој мери са граница зрна пребацује у њихову унутрашњост при чему настаје ацикуларни ферит на честицама манган сулфида као и појединачне феритне плочице. При разлагању аустенита на 500°C интензивна је симпатетичка нуклеација и коалесценција феритних плочица. Финална микроструктура се формира након ≈ 1200 s и састоји се од грубих ферита и перлита.

При изотермалном разлагању на 550 и 600°C разлагање аустенита се доминантно одвија дифузионим механизмом што се манифестује променом морфологије граничних ферита од игличастих морфологија ка издвајању алотриоморфа и идиоморфа чије је издвајање праћено настанком мале количине Видманштетеновог ферита. Трансформација се наставља издвајањем перлита при чему ни након 1800s не долази до завршетка трансформације па се финална микроструктура састоји од ферита, перлита и мартензита насталог каљењем нетрансформисаног аустенита.

У узорцима изотермално жареним на 550 и 600°C присуство мартензита указује на појаву феномена незавршене трансформације.

Морфологија ацикуларног ферита која се састоји од пакета феритних снопова (STAF) карактеристична је за ниже температуре разлагања и подсећа на беинит. Разликовање ове

две морфологије на микрофотографијама финалне микроструктуре је изузетно тешко. Настанак STAF морфологије се одвија симпатетичком нуклеацијом.

При изотермалном разлагању аустенита на различитим температурама уочавају се две различите морфологије ацикуларног ферита. На нижим температурама се уочава појава блокова ацикуларног ферита који су састављени од снопова ферита и који су међусобно укрштени, док се на вишим температурама формира морфологија ацикуларног ферита коју чине укрштене феритне плочице.

Скенирајућом електронском микроскопијом утврђено је да до нуклеације ацикуларног ферита долази до на честици манган сулфида на којој је исталожен ванадијум.

На овај начин је било могуће конструисати дијаграм изотермалног разлагања овог челика. Такође, дата је и зависност компресионе границе течења од температуре изотермалног разлагања. Највише вредности компресионе границе течења постигнуте су за узорке добијене изотермалним разлагањем на 350°C која је последица беинитне микроструктуре. Пад компресионе границе течења са порастом температуре изотермалног разлагања до 450°C условљен је смањењем густине дислокација у феритним зрнима. Густина дислокација феритних зрна опада са порастом температуре настанка ферита.

У делу резултата под насловом Термомеханичка прерада нискоугљеничних микролегираних челика приказани су резултати симулације завршне пруге ваљаонице топловаљаних трака. Прво су дате измерене зависности напон-деформација, а затим су израчунате вредности прекидног омекшавања према офсет методи и новоуведеној методи површинског параметра омекшавања.

Криве зависности напон деформација добијене при симулацији топлог ваљања торзионим тестом на 950°C указују на потупуну рекристализацију у току прве две паузе између провлака, док се у току преостале две паузе рекристализација одвија скоро потпуно.

На 875 и 850°C уочава се пад удела рекристалисане микроструктуре, при чему у последњим провацима на 850°C омекшавање потиче искључиво од опорављања. На 825°C рекристализација је потпуно спречена.

Поглавље ДИСКУСИЈА хронолошки прати претходно поглавље. У првом делу су дискутовани добијени резултати изотермалног разлагања средњеугљеничног челика. На свим температурама су анализирана места и брзине нуклеације нових фаза. Са повећањем температуре изотермалног разлагања, утврђено је да структура из доминантно беинитне преко оне у којој доминира ацикуларни ферит прелази у феритно перлитну на највишим температурама. Ова јасна идентификација структуре је омогућила да се објасни зависност компресионе границе течења од температуре. Узорци са доминантно беинитном структуром поседују највећу густину дислокација због смицајне компоненте трансформације, што резултира највишим вредностима границе течења (880-1000MPa). Са повећањем садржаја ацикуларног ферита, чврстоћа опада на 690-700MPa, пошто ацикуларни ферит има много мању густину дислокација. Повећање чврстоће у узорцима добијеним на високим температурама указује да је присутан ефекат незавршене трансформације, тј. да је дошло до стабилизације аустенита, који се накнадним брзим хлађењем са ових температура трансформисао у мартензит.

У другом делу су дискутовани добијени резултати термомеханичке прераде нискоугљеничног челика. Поред традиционалног метода одређивања удела рекристалисане структуре, предложен је нови начин за њено одређивање који смањује субјективност и грешку. Вредности прекидног омекшавања и површинског параметра омекшавања су у доброј сагласности и показују да је у тестовима симулације на 825°C потпуно спречена рекристализација у паузама између провлака, те је тако одређена температура завршног ваљања.

У поглављу ЗАКЉУЧЦИ су таксативно наведена и објашњена најважнија нова сазнања до којих је аутор дошао радом на овој дисертацији. На крају дисертације наведена је ЛИТЕРАТУРА, која садржи све коришћене референце.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема ове дисертације је проистекла из константних захтева индустријског сектора за производњом челика намењених нафтној индустрији, аутоиндустрији и тешкој машиноградњи који ће имати захтеване особине и знатно ниже трошкове производње, побољшану енергетску ефикасност и ниже трошкове одржавања у току експлоатације. Овај савремени приступ зато има велики значај, јер је један од циљева рада био и да се освоји технологија термичке обраде која обезбеђује доминантно присуство ацикуларног ферита у структури, чиме је могуће на тржишту заменити веома скупе челике који се производе каљењем и отпуштањем. Такође, оптимизација рада завршне пруге ваљалонице топловаљаних трака је стални изазов који треба да омогући и побољшање квалитета и снижење трошкова производње челика..

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради ове докторске дисертације, кандидат је искористио 211 литературних навода. Треба напоменути да је, поред великог броја радова објављених у међународним часописима новијег датума, кандидат користио референтне зборнике радова са конференција на којима су промовисане истраживачке активности везане за термомеханичку прераду микрولةгираних челика. Такође, веома подробно је приказан развој и еволуција тестова симулације који су били основа за моделирање. 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 термомеханичке прераде и трансформационог понашања микрولةгираних челика.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Термичка обрада узорка извршена је у високотемпературној електроотпорној пећи у заштитној атмосфери аргона. Пећ је опремљена електронском регулацијом температуре, која омогућава задавање и одржавање жељене температуре у комори константном. Микроструктурна испитивања су извршена светлосном микроскопијом и скенирајућом електронском микроскопијом на скенирајућем електронском микроскопу опремљеним са уређајем за енергетски дисперзивну спектроскопију X-зрака (EDAX), који је коришћен за детекцију и анализу честица секундарних фаза. За квантитативну анализу микрофотографија је коришћен одговарајући софтвер. Компресиони тестови су вршени на сервохидрауличној машини за испитивање Instron 1332 опсега 100kN. Посебан квалитет је да су узорци прво металографски испитани, а затим машинском обрадом доведени на димензије за компресиони тест, чиме је остварена могућност да се директно повежу присутна микроструктура и механичка својства.

Тестови симулације ваљања на завршној прузи су извршени коришћењем уређаја за испитивање увијањем на повишеним температурама SETARAM-IRSID. Уређај омогућава да се репродукује највећи број процесних параметара (степен деформације за сваки провлак, температура сваког провлака и пауза између провлака). Избор ове методе је био условљен чињеницом да је једино испитивањем увијањем могуће остварити степен деформације са завршне пруге испитивањем само једног узорка. Уређај је опремљен

системом за аквизицију података. У анализи промена до којих долази у паузама између провлака, коришћене су доступне методе за израчунавање удела рекристалисане структуре. Такође, у овом раду је уведена нова метода за израчунавање удела рекристалисане структуре.

3.4. Применљивост остварених резултата

Избор теме ове докторске дисертације је условио применљивост резултата у индустрији. Резултати испитивања средњеугљеничних микролегираних челика са ванадијумом се могу посматрати на два начина: (1) одређивање температуре изотермалног разлагања аустенита са циљем добијања структуре ацикуларног ферита, и (2) повезивање различитих структура са механичким својствима.

Са друге стране, резултати испитивања нискоугљеничних микролегираних челика са Nb/Ti су у функцији оптимизације режима комерцијалног контролисаног ваљања на завршној пружи ваљаонице топловаљаних трака. Новоуведена метода одређивања удела рекристалисане фазе ће омогућити унапређење постојећег модела за управљање на завршној пружи.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу досадашњег рада на истраживачким пројектима и остварених научних резултата током докторских студија, Стефан М. Дикић, 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 два рада у врхунском међународном часопису (M21), један рад у истакнутом међународном часопису (M22), један рад у међународном часопису (M23), један рад у часопису међународног значаја верификован посебном одлуком (M24), један рад у водећем националном часопису (M51). Такође, коаутор је три саопштења штампана у изводу на научним скуповима међународног значаја (M34). На основу изложеног Комисија сматра да је кандидат Стефан М. Дикић својим компетенцијама и трудом, паралелно са квалитетом публикованих резултата испунио све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси проистекли из истраживања у докторској дисертацији кандидата Стефана М. Дикића су:

- Утврђен је утицај температуре изотермалног разлагања аустенита на финалну микроструктуру у средњеугљеничним микролегираним челицима. Све микроструктуре су документоване и објашњене.
- Утврђени су услови под којима се добија највећа количина ацикуларног ферита у структури средњеугљеничног микролегираног челика. Изотермално разлагање на 450°C започиње после две секунде.
- Утврђена је зависност механичких својстава од технологије термичке обраде и добијених микроструктура. Ова својства су основ за пројектовање и употребу средњеугљеничних микролегираних челика
- Уведена је нова метода за квантитативно одређивање удела рекристалисане структуре у току контролисаног ваљања микролегираних нискоугљеничних челика на температурама топле прераде. Метода се заснива на упоређивању зависности напон-деформација остварене у првом провлаку (рекрсталисано стање) и сваком наредном. Метода даје прецизнији резултат и смањује субјективност у раду.

- У тестовима симулације је утврђен међусобни однос деформације и рекристализације током контролисаног ваљања микролегираних нискоугљеничних челика (параметри термомеханичког режима) и дефинисана је температура завршног ваљања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације указују на могући искорак у проширењу употребе средњеугљеничних микролегираних челика. Утврђено је да се у случају изотермалног разлагања аустенита на 450°C добија микроструктура доминантно сачињена од ацикуларног ферита који допуњава мала количина дегенерисаног Видманштетеновог ферита. Разлагање аустенита започиње формирањем ферита на границама зрна, док се трансформација пребације у унутрашњост зрна при чему доминантно настаје ацикуларни ферит који нуклеише на честицама које у основи чини MnS, са слојем/деловима VN. Нуклеација на честицама праћена је симпатетичком нуклеацијом. Трансформација се завршава након 600s. Ова структура задржава границу течења од око 700MPa, што омогућава употребу у великом броју конструкција.

У раду је доведена у везу и присутна микроструктура са механичким својствима, што омогућава да се, у зависности од захтеваних својстава, дефинише технологија термичке обраде ових челика.

Такође, резултати добијени у тестовима на 550 и 600°C указују на еномен незавршене трансформације. Овај феномен се често сматра проблемом, јер систем није у стабилном стању. Са друге стране, резултати у овом раду указују да се након каљења могу добити веома високе чврстоће, што им отвара комерцијалне могућности.

Резултати добијени у тестовима термомеханичке прераде и симулације имају велики значај будући да је оптимизација рада топле ваљаонице константна тема за истраживање. У овом раду је уведена нова метода за квантитативно одређивање удела рекристалисане структуре у току контролисаног ваљања микролегираних нискоугљеничних челика на температурама топле прераде. Метода се заснива на упоређивању зависности напон-деформација остварене у првом провлаку (рекрсталисаном стању) и сваком наредном. За сваки од наредних (2-5) провлака се рачуна површина испод зависности напон деформација и пореди са вредношћу за исти степен деформације у првом провлаку. На овај начин се превазилази могућност субјективног читавања вредности са дијаграма за границу течења или проклизавање епрувете за прве вредности које систем за аквизицију региструје. На овај начин се повећава прецизност рада и омогућава да се у веома кратком времену добије резултат, што даје могућност да се инкорпорира и у моделе који раде у реалном времену..

4.3. Верификација научних доприноса

Рад у врхунском међународном часопису (M21):

1. **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):

1. **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)

Рад у међународном часопису (M24):

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

1. **Dikić, S.**, Glišić, D., Radović, N., Fadel, H.A. (2019). Intergranular nucleation of ferrite in titanium-vanadium microalloyed medium carbon steel during isothermal transformation. 4th South-East Europe 2019, 05.-07.June 2019 Belgrade Book of Abstracts: p.69. ISBN: 978-86-87183-30-8

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 „Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микрولةгираних челика“, аутора Стефана М. Дикића број индекса 4018/16, утврђено је да подудараност текста износи 2%. Овај степен подударности последица је општих места, личних имена и назива, 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 Металуршко инжењерство, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Докторска дисертација је вођена под менторством др Драгомира Глишића, доцента Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Сађе Мартиновић, научног саветника, Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију.

На основу раније изнете детаљне анализе остварених резултата докторске дисертације под називом „Термомеханичка прерада и трансформационо понашање микрولةгираних челика“, кандидата Стефана М. Дикића, Комисија сматра да ова докторска дисертација представља значајан и оригиналан научни допринос у металургији микрولةгираних челика. 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 Реферат и да га, заједно са докторском дисертацијом под насловом „ТЕРМОМЕХАНИЧКА ПЕРЕРАДА И ТРАНСФОРМАЦИОНО ПОНАШАЊЕ МИКРОЛЕГИРАНИХ ЧЕЛИКА“, кандидата Стефана М. Дикића, 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, 23.12.2022

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

др Миљана Поповић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

др Радица Прокић Цветковић редовни професор
Универзитета у Београду, Машински Факултет