

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Бранислава Р. Ђорђевића, мастер инжењер машинства.**

Одлуком 1559/2 од 22.10.2020.године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата кандидата **Бранислава Р. Ђорђевића, мастер инжењер машинства** под насловом

**„ЖИЛAVОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ
ТЕМПЕРАТУРЕ”**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Бранислав Р. Ђорђевић – мастер инжењер машинства, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2015/2016. године. На основу захтева студента Бранислава Р. Ђорђевића, маст. инж. маш., бр. 2194/1 од 22.11.2019. године да му се одобри израда докторске дисертације и реферата, и извештаја Комисије у саставу: др Александар Седмак, ред. проф., др Зоран Радаковић, ред. проф., др Оливера Поповић, ред. проф., др Зијах Бурзић, научни саветник Војнотехничког института и др Венцислав Грабулов, научни саветник института ИМС, број 2194/2, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултетета (број 1450/4 од 14.06.2018. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 12.12.2019. године, донело је одлука бр. 2194/3 да се прихвата научна заснованост теме докторске дисертације и да студент **БРАНИСЛАВ Р. ЂОРЂЕВИЋ**, маст. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **„ЖИЛAVОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ“**. За ментора студенту Браниславу Р. Ђорђевићу, именује се др Александар Седмак, ред. проф. машинског факултета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-140/2-20 од 23.1.2020. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Бранислава Р. Ђорђевића, под насловом: „**ЖИЛАВОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ**“.

На основу обавештења проф. др Александра Седмака да је кандидат Бранислав Р. Ђорђевић, завршио докторску дисертацију под насловом: „**ЖИЛАВОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ**“, и предлога Катедре за Технологију материјала, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 22.10.2020. године донело Одлуку број 1559/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Александар Седмак, редовни професор у пензији (ментор), Машински факултет у Београду
- др Зоран Радаковић, редовни професор, Машински факултет у Београду
- др Оливера Поповић, редовни професор, Машински факултет у Београду
- др Зијаж Бурзић, научни саветник, Војнотехнички институт, Београд
- др Сретен Мاستиловић, виши научни сарадник, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом ”**ЖИЛАВОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ**”, припада области техничких наука - машинству, ужој научној области НАУКА О МАТЕРИЈАЛИМА, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Бранислав Р. Ђорђевић рођен 11.06.1988. у Смедереву, завршио је основну школу „Доситеј Обрадовић“ у Вранову код Смедерева, а средњу Техничку школу у Смедереву. Машински факултет у Београду је уписао 2009. године. Основне академске студије је завршио 2012. године, док је мастер академске студије завршио 2014. године на катедри за Технологију материјала (модул Заваривање и заварене конструкције. Докторске студије је уписао новембра 2015.

Радно искуство

2015-2016: БиоИРЦ, Првослава Стојановића 6, Крагујевац (истраживач /конструктор)

2016 – до данас: Иновациони центар Машинског Факултета у Београду, Краљице Марије 16. Београд (инстраживач приправник/истраживач сарадник)

2019 – до данас: Именовано тело за опрему под притиском Иновационог Центра, Краљице Марије 16, Београд (Руководилац за квалитет за контролно тело)

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата кандидата Бранислава Р. Ђорђевића под **”ЖИЛАВОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ”** садржи: 105 страна формата А4, 75 слика, 13 табела, 94 једначина и списак коришћене литературе који садржи 126 референце. Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Историја проблема – ломови у подручју прелазне температуре
3. Крти лом
4. Механика лома – основе и стандардна испитивања
5. Основни појмови статистике и теорије вероватноће
6. Преглед референтне литературе
7. Експериментални део и вероватноће лома
8. Анализа и дискусија резултата
9. Закључак
10. Литература

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Поглавље 1: Увод

У првом поглављу кандидат Бранислав Р. Ђорђевић (у даљем тексту кандидат) је приказао нека уводна разматрања везаних на тему докторске дисертације, конструкторских и инжењерских проблема, образложење као и инспирацију за израду ове дисертације. Поред тога, приказан је план и програм истраживања ове целокупне студије, као и опис поглавља дисертације.

Поглавље 2: Историја проблема – ломови у подручју прелазне температуре

У другом поглављу ове дисертације је приказана кратка историја проблема кртих ломова металних материјала на ниским температурама и објашњени су разлози за удруживање академске и инжењерске заједнице у решавању проблема са овом тематиком. Дат је кратки историјски осврт кроз приказ неких релеватних радова који објашњавају горе поменуто. Треба нагласити да у овој глави није дат „суштински“ приказ референтне литературе, већ само историјски приказ концепта ове проблематике.

Поглавље 3: Крти лом

У трећем поглављу кандидат је приказао теоријске основе и дефиниције кртог и жилавог лома, као и разлоге за ову класификацију, услове настајања итд. У овом поглављу објашњени су и фактори који условљавају прелаз из жилавог у крт лом феритних материјала (жилаво-крта транзиција), као и саму дефиницију кртог лома са аспекта научне дисциплине

механике лома. Све претходно поменуто је поткрепљено позивањем на одговарајуће дефиниције из одговарајуће литературе.

Поглавље 4: Механика лома – основе и стандардна испитивања

Четврто поглавље ове докторске дисертације пружа информације о основним принципима и концептима механике лома, али и поступцима и приказа делова коришћених стандарда тј. начине одређивања параметара механике лома из експерименталног дела ове дисертације и осталих меродавних параметара добијених експерименталним испитивањима. Кандидат је дао и кратак опис коришћених стандарда као и меродавност истих при одређивању параметара из експерименталног дела ове дисертације.

Поглавље 5: Основни појмови статистике и теорије вероватноће

У петом поглављу приказани су основе статистичке анализе и теорије вероватноће, односно алата који су употребљени у анализи експериментално добијених резултата (конкретно вредности J_c). Приказане су и објашњене методе одређивања кумулативне расподеле (првенствено Вејбулове) за одређени скуп података (случајних величина), расподеле која је коришћена у обради експерименталних резултата. Поред тога приказане су и методе и основе регресионе анализе у циљу одређивања параметара Вебулове кумулативне расподеле са циљем приказа процедуре горе поменуте статистичке анализе (односно обраде) добијених резултата из експерименталног дела.

Поглавље 6: Преглед референтне литературе

У шестој глави кандидат се бавио „правим прегледом“ референтне литературе проблематике која је у спреси са темом ове дисертације. У овом поглављу приказани су досадашња истраживања феномена прелазне температуре, жилаво-крте транзиције и карактеризација исте за поједине феритне челике применом научне дисциплине механике лома. Посебан осврт је дат на природу расипања параметара механике лома испитивањима феритних челика на ниским температурама. Посебна пажња је дата двома студијама, које су поменуте и у уводном делу, као инспирације за израду ове дисертације. Такође, кандидат је дао приказ студија са статистичком анализом и интерпретацијом података, односно резултата испитивања (управо због проблема расипања), феритних материјала у прелазном температурном режиму. Поред тога, анализиран је у утицај ометености деформације (граничних услова) $C(T)$ епрувета кроз референтне радове са горе поменутом тематиком, односно испитивања у прелазном температурном режиму. Утицај величине структуре у Вејбуловој статистичкој обради је такође обрађен анализом релеватних радова са овом темом, као и скалирања резултата са циљем предикције.

Поглавље 7: Експериментални део и вероватноће лома

У овом поглављу кандидат је приказао поступак испитивања $C(T)$ епрувета различитих димензија, поступак припреме, као и методе статистичке обраде резултата дво-параметарском Вејбуловом расподелом и добијања кривих вероватноћа лома цепањем (кумулативном расподелом), са циљем добијања и предидикције вероватноће лома $C(T)$ епрувета већих димензија у функцији параметра механике лома J_c . $C(T)$ епрувете су направљене од феритног реакторског челика 20MnMoNi 55 према DIN стандарду.

Испитивања су урађена на два температурама -60°C и -90°C . Детаљно је дат и приказ експерименталне поставке. Криве вероватноће лома цепањем, односно вредности вероватноће за поједине вредности J_c , су директно поређене са експерименталним резултатима испитивањем већих $C(T)$ епрувета. Поред приказаних резултата који су били предмет статистичке обраде, дат је и приказ осталих релевантних параметара у циљу даље анализе.

Поглавље 8: Анализа и дискусија резултата

У овом поглављу кандидат је урадио одговарајућу анализу добијених резултата из експерименталног дела. Урађена је одговарајућа дискусија добијених резултата, као и добијених кривих вероватноћа лома цепањем добијених у претходном поглављу. Предложени закони расподеле (односно вероватноће лома цепањем) анализирани су одговарајућим статистичким тестом. Поред тога, урађена је и дискусија осталих меродавних параметара, као у одговарајућа анализа. Посебна пажња је посвећена анализи кривих лома цепањем $C(T)$ истих димензија ($C(T)50$) на различитим температурама и емпиријској релацији добијеној анализом параметара Вејбулове расподеле у којој је уочена потенцијална температурна зависност. У посебном потпоглављу овог поглавља, приказана је процедура скалирања резултата из једног дела студије са циљем анализе утицаја величине $C(T)$ епрувета челика 20MnMoNi 55 на температури -60°C . Циљ скалирања је предвиђање вероватноће лома за произвољну величину $C(T)$ епрувете. Као крајњи циљ скалирања добијен је емпиријски израз којим је могуће добијање предвиђање кривих вероватноћа.

Поглавље 9: Закључак

У овом поглављу кандидат је приказао закључке целокупне студије на основу добијених резултата и методе обраде резултата, као и анализе из поглавља 8 (осам). Поред тога, дат је пажљиво и осврт на отворена питања која су наметнута целокупном студијом и предложеном методом обраде.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања која се тичу прелазног температурног режима феритних материјала изискују посебну пажњу, а предложене методе тумачења и обраде резултат су увек увек у спрези са тренутним технолошким напретком. У конкретном примеру, феритни челик 20MnMoNi 55 који је тема ове дисертације је тема великог броја истраживања и дан данас, највише због његове примене у екстремним условима, односно ниским температурама. Кандидат је на оригиналан начин спојио методе обраде и тумачења резултата експерименталним испитивањима (који имају природу расипања) и савремене алате у циљу добијања кривих вероватноћа лома цепањем испитиваних епрувета, као и предикције понашања већих на испитним температурама. Посебну пажњу треба дати оригиналности на детаљној анализи добијених кривих и скалирања резултата, које су за циљ имале емпиријске изразе и отвориле нова питања.

Оригиналност добијених резултата у оквиру ове студије потврђују радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У овој докторској дисертацији коришћена је обимна литература из различитих области који су у спрези са темом дисертације. Због изразито комплексног карактера теме докторске дисертације, референтне и обрађене области обухватале су механику лома, крти и жилав лом и његову природу, жилаво-крту транзицију феритних материјала, понашања ових материјала у овој области, експерименталне методе испитивања, статистичке обраде и тумачења резултата у овој области, али и утицај величине кртих структура односно солида. Поменута литература је кандидату послужила као полазна основа за формирње прегледа постојећих истраживања везаних за област жилаво-крте транзиције феритних материјала на ниским температурама као и одговарајућу карактеризацију. У уводном делу докторске дисертације кандидат приказује кратку историју проблема из праксе и научне литературе и неопходност адекватне анализе, али и препоруке развијених стандарда, који пак нису често довољни за потпуно сагледавање феномена крто-жилаве (и обрнуто) транзиције. Литература, односно референце, коришћене у раду приказане су на крају дисертације у виду листе, а кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у научним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја. Од наведених наслова коришћене литературе, могу се наћи књиге реномираних и признатих истраживача, радова од најстаријих (пионира у зависности од обрађене области) до најновијих из водећих међународних часописа. Стандарди по којима су тумачени резултати експерименталних испитивања су новијег датума.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради докторске дисертације примењене су и експерименталне методе испитивања и статистичке обраде добијених резултата. Софтверски пакет поменут у докторату је коришћен у циљу добијања кривих вероватноће лома цепањем $S(T)$ епрувета, као и предикције кривих већих деимезија. Софтверски рачунарски пакети су коришћени у циљу спровођења предложене регресионе анализе. Скалирање резултата је урађено адекватним метода и познатим законима скалирања. Методи експертског мишљења током анализе и тумачења добијених резултата је такође придодата посебна пажња.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру ове докторске дисертације, поред научне вредности и доприносу научној дисциплини механика, као једној бачичној, имају и значајну практичну примену. Поред тога што пружа ширу слику понашања феритног челика 20MnMoNi 55 на температурама -60°C и -90°C преко параметара механике лома и осталих релевантних параметара, пружен је додатни увид у утицај динамичког оптерећења припремљених узорка на добијене резултате преко пластичне зоне око прслине. Пресликавањем резултата епрувете на проблеме реалне конструкције добијају се вредности параметара J_c који су, заправо, од важности приликом конструисања опреме израђене од овог челика. Вероватноће лома цепањем и предикције понашања већих структура у функцији параметра J_c на овај начин директно показују утицај геометрије (првенствено дебљине) на интегритет конструкције и његову способност или тежњу за жилавим или кртим ломом услед присуства прслине. Законитост одређених појава добијених овом студијом је такође уочена. Скалирањем је

добијена законитост у циљу анализе утицаја од величине за произвољну величину епрувете, а циљ је предвиђање понашања реалних структура, већих димензија, на основу испитивања мањих.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидат је показао способност за самостални научно-истраживачки рад, као и способност да решава научне проблеме, аналитички приступа, односно да има изузетено знање у оквиру области науке о материјалима, затим теоријске механике лома и генерално механике, као и алатима статистичке анализе и тумачења, који је потребан за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено како бројним испитима које је кандидат положио на докторским студијама, тако и бројним објављеним радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Оригинални научни допринос кандидата Бранислава Р. Ђорђевића и његовог доктората под називом **”ЖИЛАВОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ“** је предвиђање понашања материјала на ниским температурама применом статистичких метода на расположиве експерименталне резултата. При томе је анализиран утицај дебљине испитиваних узорака и на овај начин је приказан метод за тумачење великог расипања резултата параметра механике лома J_c у овој осетљивој температурној области за овај челик, односно на температурама -60°C и -90°C . Поред тога приказан је утицај припреме узорака на расипање резултата. Научни допринос, резултати испитивања и поменута анализа су приказани у поглављима 7 и поглављу 8 ове докторске дисертације, а објављени су у раду категорије M21 у часопису Engineering Failure Analysis, доступан на линку <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105392> као online first издање, где су у поглављу 5 дати закључци истраживања. Овај рад је наведен под бројем 1 у списку радова.

Остали битни доприноси доктората су:

Утицај оптерећења, начин задавања деформације и пластичне деформације на појаву кртог лома је такође битан научни допринос, приказан у часопису Интегритет и Век Конструкција (ИВК). Ови утицаји анализирани су испитивањем С(Т)50 епрувета феритног челика 20MnMoNi 55 на две испитне температуре у прелазном температурном режиму. Утицај брзине испитивања, тачније, ниво задате деформације је анализиран испитивањем С(Т) епрувета на -60°C , док је утицај пластичне деформације анализиран уношењем иницијалне заморне прелине са ниском и високом вредношћу опсега ΔK на С(Т) епруветама и испитивањима на температури -90°C . Ово устраживање је приказано у поглављима 7 и 8 дисертације. Рад је доступан објављен у броју 2/2020 часописа ИВК, на странама 184-189, категорије M24, и доступан је на линку <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk20/ivk2002-15s.html>. Рад је наведен под бројем 2 у списку радова.

Коначно, предложена метода статистичке провере са циљем процене добијених расподела је такође научни допринос ове дисертације. Идеја студије и плана испитивања, са предложеном методом анализе резултата у функцији параметра J_c приказана је и престављена на конференцији VECF1, а такође у поглављима 7 и 8 ове дисертације. Ова студија и конференцијски рад категорије M33 је објављен у часопису Procedia Structural Integrity, доступан на линку <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.035>, на странама 295-300 овог издања. Овај рад је представљен у оквиру online конференције и предавање је доступно на линку https://www.youtube.com/watch?v=7oF8r8xGa_g. Рад је наведен под бројем 3 у списку радова.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом релевантне научне литературе и постојећих решења који се тичу области и теме докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати и метод истраживања, као и метод статистичке обраде експерименталних резултата, изузетно значајни и научно утемељени. Увидом у задате циљеве истраживања и резултате представљене у овој целокупној студији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања. Кандидат је научним методама дефинисаним овом дисертацијом дао допринос разумевању специфичне теме која је обрађена. Предикције веровантоће лома цепањем, метод манипулације податка, нарочито статистички приступ, скалирајућа процедура експерименталних резултата, имају велики значај у разумевања феритног материјала у осетљивом температурном режиму и пружају нове погледе и указују будући ток испитивања. Закључци целе студије могу послужити за даљи ток испитивања које се тичу разумевања прелаза целог феномена кртих и квази-кртих структура.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос кандидата Бранислава Р. Ђорђевића, верификовани су следећим радовима:

Категорија M20

1. В. Djordjevic, A.Sedmak, B. Petrovski, A. Dimić: *Probability distribution on cleavage fracture in function of J_c for reactor ferritic steel in transition temperature region*, Engineering Failure Analysis, 2021, 105392. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.035> (категорија M21)
2. В. Ђорђевић, А.Седмак, В. Petrovski, S.A. Sedmak, Z. Radaković: *Load and Deformation Effects on Brittle Fracture of Ferritic Steel 20MnMoNi 55 in Temperature Transition Region*, Structural Integrity and Life (EISSN 1820-7863), Vol. 20, No. 2, 2020, pp 184–189. (категорија M24)

Категорија M30

3. В. Djordjevic, A.Sedmak, B. Petrovski, A. Dimic: *Weibull Probability Distribution for Reactor Steel 20MnMoNi55 Cleavage Fracture in Transition Temperature*, Procedia Structural Integrity (VECF1 conference), 2020, Vol.28: pp 295-300. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.035> (категорија M33)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под **”ЖИЛАВОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ”** кандидата Бранислава Р. Ђорђевића, маг. инж. маш., прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Бранислав Р. Ђорђевић, маг. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација под називом **”ЖИЛАВОСТ ФЕРИТНОГ РЕАКТОРСКОГ ЧЕЛИКА У ПОДРУЧЈУ ПРЕЛАЗНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ”** представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област **Технологија материјала - Наука о материјалима**.

У Београду, 01.04.2021. год

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Александар Седмак, ред. проф. у пензији
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Др Зоран Радаковић, ред. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Др Оливера Поповић, ред. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
др Зијех Бурзић, научни саветник
Војнотехнички институт, Београд

.....
др Сретен Мاستиловић, виши научни сарадник
Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд