

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Ненада З. Милошевића**, маг. инж. маш., (M.Sc.) студента докторских студија

Одлуком бр. 834/2 од 05.05.2021. именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ненада З. Милошевића за израду докторске дисертације под називом **„Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“**. На основу материјала предложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Увод

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Ненад З. Милошевић, маг. инж. маш.– мастер инжењер машинства, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2013/2014. године. Кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 240/1 од 19.12.2019. године на Катедри за Технологију материјала Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Александра Седмака, професора емеритуса, Машинског факултета у Београду.

На основу сагласности Катедре за Технологију материјала 23/1 од 10.01.2020. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 23.01.2020. године Одлуку број 23/2 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

Проф. др Александар Седмак, проф емеритус, ментор

Проф. др Радица Прокић Цветковић, ред. проф.,

Проф. др Гордана Бакић, ред. проф.,

Проф. др Вукић Лазић, ред. проф., Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет,

др Зијаж Бурзић, научни саветник, ВТИ, Београду

Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације је 11.02.2020. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду Извештај број 23/3, у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под насловом **„Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“**, наводећи да Кандидат испуњава све законом предвиђене услове за израду докторске дисертације и да је предложена тема научно утемељена и адекватна и да пружа могућност остваривања значајних научних доприноса. Одлуком Наставно-научног већа број 23/4 од

27.02.2020. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“ кандидата Ненада З. Милошевића, и за ментора је именован др Александар Седмак, професор емеритус, Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-1071/2-20 од 30.04.2020. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Ненада З. Милошевића, под насловом: „Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“.

На основу обавештења проф. др Александра Седмака да је кандидат Ненад З. Милошевић, завршио докторску дисертацију под насловом: „Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“ и предлога Катедре за Технологију материјала, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 20.05.2021. године донело Одлуку број 834/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

Проф. др Александар Седмак, проф. емеритус, ментор

Проф. др Радица Прокић Цветковић, ред. проф.,

Проф. др Гордана Бакић, ред. проф.,

Проф. др Вукић Лазих, ред. проф., Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет,

др Игор Мартић, научни сарадник, ИЦ МФ, Београд

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“ припада области техничких наука - машинству, ужој научној области Технологија материјала, Заваривање, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

1.3. Општи биографски подаци

Ненад З. Милошевић је рођен 18.10.1987. у Београду. Завршио је основну школу „Милан Муњас“ у Убу, Електротехничку школу „Земун“ у Београду. Машински факултет у Београду је уписао 2008. Основне академске студије је завршио 2011. године са просеком 8.33 и уписао мастер академске студије које је завршио 2013. са просеком 9.47, на модулу за заваривање и заварене конструкције. Докторске студије је уписао 2013. Све предмете на докторским студијама, положио је закључно са школском 2019/2020.

Радно искуство

2013 – 2015, у фирми Велестрој-Београд, ради као машински инжењер и менаџер пројекта на пословима заваривања при изради рафинерије "Антипински НПЗ" у Тјумену, Русија,
2015 – 2021, на Машинском факултету, Универзитета у Београду ради као асистент, на Катедри за технологију материјала, а од 2021 у Иновационом центру Машинског факултета у Београду, запослен је у звању истраживача сарадника.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Ненада З. Милошевића под називом „Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“, садржи: 154 стране формата А4, 120 слика, 24 табеле, 286 једначина и списак коришћене литературе који садржи 60 референци. Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Мерење деформација
3. Стварни дијаграм напон – деформација
4. Експеримент
5. Резултати
6. Дискусија и закључак
7. Прилози
8. Литература

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

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Поглавље 1: Увод - Представљање значаја анализираниог проблема

Тема ове докторске дисертације је произашла из чињенице да један од најчешће коришћених дијаграма у инжењерству није до краја објашњен. Наиме до данас није тачно показано, измерено и објашњено стварно понашање материјала након достизања максималне силе приликом испитивања затезањем. Имајући ово у виду лако можемо закључити да се употребом инжењерских вредности за затезну чврстоћу материјала врши грубо умањење стварне носивости материјала.

Анализа и одређивање стварног дијаграма затезања, тј. дијаграма напон – деформација може да се изведе са великом прецизношћу употребом корелације дигиталних слика и софтвера Арамис. Употребом две камере за снимање деформација добија се тродимензионално поље деформација епрувете током испитивања.

Како би се деформација ограничила на што мању зону, изабран је додатни материјал са нижим вредностима чврстоће од основног материјала, тј. изведени су "*undermatching*" заварени спојеви на два основна материјала. Материјали су изабрани тако да буду представници одређених група материјала за које се и у пракси користи овај вид спојева. Изабрана су два мартензитна али потпуно другачија челика. Представник челика отпорних на пузање је челик, *X 10 CrMoVNb 9-1* код кога се мартензитна структура поред термичке обраде обезбеђује и легирајућим елементима. Код ових челика заваривање у "*undermatching*" режиму се користи приликом заваривања у застоју како би линија могла да функционише до планираног ремонта. Други мартензитни челик који је коришћен је панцирни челик *ArmoX 500T* код кога је мартензитна структура постигнута процентом угљеника и термичком

обработом. Ови челици се заварују у "undermatching" режиму када је дозвољено израдити спој са нижом чврстоћом а све у циљу избегавања појаве прелина. Оба материјала су у оквиру ове дисертације заварена на исти начин, тј. истом комбинацијом поступака, истим додатним материјалима, без предгревања и накнадне термичке обраде.

Поглавље 2: Мерење деформација.

У овом поглављу је приказан преглед метода за мерење деформација са посебним акцентом на корелацију дигиталних слика (*DIC*) која је коришћена у оквиру ове дисертације. Приказане су могућности и начин рада поменуте методе уз осврт на предности ове методе у односу на друге начине мерења деформација уз навођење главних недостатака примењене методе. Објашњен је начин обраде резултата и прикупљања података.

Поглавље 3: Стварни дијаграм напон-деформација.

У овом поглављу је дат кратак преглед досадашњих истраживања на ову тему, са наведеним ауторима који по мишљењу кандидата имају најутицајније радове из ове области. Хронолошки је представљен приступ проблему и његово решавање које је ишло у корак са развојем уређаја за мерење деформација. Такође у оквиру овог поглавља су наведене одређена становишта која су заступали многи истраживачи ове теме а која су се, бар по мишљењу ауора дисертације, испоставила недовољно прецизна. У ово се може уврстити, као главна претпоставка, становиште да троосно стање напона које се јавља у епрувети након достизања максималне силе и стварања "врата" на епрувети представља фактор који ако се реши доводи до конструисања стварног дијаграма напон-деформација. Ово ће се испоставити као неосновано, јер је еквивалентни напон који се јавља у епрувети након стварања "врата" нижи од нормалног напона а опште је познато да стварни напон ком је епрувета изложена мора бити виши од инжењерског који је израчунат употребом почетних димензија епрувете. Већина истраживача у својим радовима на ову тему полази од закона ојачања у циљу да одреди параметре који дефинишу једначину. На овај начин се добија јединствено решење које важи само за поменути случај, уско повезано са свим параметрима и условима у којима је испитивање изведено. Аутор је пошао од претпоставке да на стварни дијаграм највећи утицај поред смањења површине попречног пресека епрувете има троосно стање напона и концентрација напона на месту сужења.

Поглавље 4: Експеримент.

У овом поглављу кандидат представља припрему и поставку комплетног експеримента по етапама. Почевши од израде недостајућих уређаја, преко припреме епрувета па до поставке самих камера и подешавања кидалице. У оквиру овог поглавља све операције и радње које су вршене у оквиру припреме експеримента имају своје објашњење како би се евентуално у будућности експеримент могао поновити у готово истим условима, тј. како би се обезбедила поновљивост експеримента.

Поглавље 5: Резултати.

У овом поглављу је дат преглед свих резултата за епрувете које су прихваћене након испитивања без разарања и на којима је вршено испитивање. Резултати су приказани у форми слика и табела а дат је и рачунски приказ одређених операција потребних за израчунавање

параметара потребних за анализу. У оквиру резултата су приказани дијаграми који су добијени употребом предложене аналитичке формуле и методе коначних елемената, упоредо, уз употребу резултата добијених снимањем *DIC* методом. Дакле дијаграми су формирано као резултат аналитичке методе, употребом формуле коју је предложио аутор ове дисертације и нумеричке методе у којој је вршена напонска анализа а вредности деформације које су измерене *DIC* методом су унапред уношене на сам модел. Дакле измерене деформације су уношене на модел а оптерећење прочитано са кидалице, за тај тренутак, је задато у облику напона и праћен је фактор концентрације напона на месту сужења на епрувети. У оквиру овог поглавља је дата и анализа преломних површина одређених епрувета. Преломне површине су сликане SEM – ом и анализирани су добијени резултати.

Поглавље 6: Дискусија и закључак.

У овом поглављу су продискутовани добијени резултати уз детаљну анализу. Након дискусије су изведени закључци и дат је опис научног доприноса дисертације. Такође у оквиру овог поглавља је наведен и планирани правац даљих истраживања на ову тему, односно проширивање анализе на другачије основне материјале и другачије типове заварених спојева.

Поглавље 7: Прилози.

У оквиру овог поглавља су наведени сви пропратни материјали и технологија израде како би се обезбедила поновљивост експеримента у будућности.

Поглавље 8: Литература.

У овом поглављу је наведена сва цитирана литература.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања у области понашања материјала под дејством спољашњег оптерећења и одређивање фундаменталних карактеристика материјала су веома значајна и актуелна. Кандидат је дао јасну идентификацију и анализу свих фактора који утичу на одговор материјала на примењено оптерећење а самим тим и на добијене вредности параметара чврстоће завареног споја. Докторска дисертација представља савремен и оригиналан допринос разматраној проблематици и поставља темељ другачијем тумачењу дијаграма затезања. У оквиру докторске дисертације примењени су савремени истраживачки поступци и лабораторијска мерења уз коришћење најновијих софтверских решења за нумеричке симулације. Оригиналност добијених резултата у оквиру дисертације потврђују радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је литература из различитих области, а све у циљу приказа досадашњих истраживачких радова и појашњења намере аутора да стварни дијаграм добије употребом оптичке методе мерења деформација и предложене аналитичке методе.

Провера добијених резултата вршена је употребом нумеричке симулације, а на моделе пре симулације је уношена деформација која је измерена DIC – ом. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа постојећих истраживања везаних за ову тематику, као и за припрему форме експеримената и нумеричких модела. Све референце коришћене у раду приказане су на крају рада, а кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у научним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја. Од наведених наслова коришћене литературе, доминирају оне са значајним доприносима и другачијим гледиштима на посматрану тематику.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради докторске дисертације примењене су експерименталне, аналитичке и нумеричке методе. Метода коначних елемената у савременој науци има све већу примену и користи се за испитивања и прорачуне различитих машинских конструкција. У оквиру ове дисертације метода коначних елемената је коришћена само за напонску анализу тј. за проверу вредности напона добијених предложеном аналитичком методом. У склопу нумеричких анализа формиран су веродостојни и поуздани нумерички прорачунски модели. Примењене су методе верификације, засноване на поређењу добијених нумеричких и експерименталних резултата, као и метода експертског мишљења током анализе и тумачења добијених резултата.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и широку практичну примену, пре свега у прорачунима чврстоће елемената који су изложени другим врстама оптерећења (не затезању), долази до предимензионисања елемената због употребе инжењерских параметара чврстоће. Остварени експериментални резултати омогућавају израчунавање потребних параметара за аналитичко одређивање стварних дијаграма напон-деформација. Предложена аналитичка метода представља научни и инжењерски напредак у области која је предмет истраживања дуг временски период, што представља значајан научни и практични допринос.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат је показао способност за самостални научни рад, као и способност решавања научних проблема, односно, да има изузетно знање у оквиру области науке о материјалима, завареним спојевима, као и савремених нумеричких анализа, потребно за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено како бројним испитима које је кандидат положио на докторским студијама, тако и бројним коауторским радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни допринос кандидата и његовог доктората под називом „**Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева**“ је увођење и јасна формулација аналитичке методе за одређивање стварног дијаграма напон-деформација, која у обзир узима и

концентрацију напона, услед сужења епрувете. Научни допринос, резултати испитивања и поменута анализа су приказани у поглављима 5 и 6 ове докторске дисертације, као и раду наведеном под 1, који је прихваћен за објављивање у часопису категорије M21 Engineering Failure Analysis, као online first издање у јулу 2021, где је овај научни допринос експлицитно наведен у закључцима.

Остали научни доприноси се односе на:

- Успостављање процедуре верификације аналитичких резултата употребом нумеричких меода, тј. методе коначних елемената у чије моделирање је уведена експериментална метода одређивања деформација, објављено у раду бр. 2
- Утврђен је фактор концентрације напона на месту сужења на епрувети након достизања максималне силе, објављено у раду бр. 2.
- Утврђен је утицај троосног стања напона на вредност стварног напона у епрувети и на конструисање стварног дијаграма напон-деформација код "*undermatching*" заварених спојева, објављено у раду бр. 3.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и постојећих решења из области докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања. Развијени аналитички и нумерички модели и експерименталне процедуре имају велику применљивост у области одређивања механичких карактеристика и оптерећења конструкција.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси кандидата Ненада З. Милошевића, верификовани су следећим радовима:

1. **N. Milosevic**, B. Younise, A. Sedmak, M. Travica, N. Mitrovic, Evaluation of true stress-strain diagrams for welded joints by application of Digital Image Correlation, прихваћено за објављивање у Engineering Failure Analysis, 2021
2. **Milosevic, N.**, Sedmak, A., Martic, I., Prokic-Cvetkovic, R. (2021), Novel procedure to determine actual stress-strain curves, Structural integrity and life, 21(1), p. 37-40 – **M24**
3. **Nenad Milošević**, Aleksandar Sedmak, Radomir Jovičić, ‘‘Analysis of strain distribution in overmatching V groove weld using digital image correlation’’ 22st European Conference on Fracture (ECF 22), Belgrade, Serbia, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.337> - **M33**

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Ненад З. Милошевић, маг. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да докторска дисертација под називом **„Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“** представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област **Технологија материјала, Заваривање**.

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације предлаже да се докторска дисертација под називом **„Примена стереометријске методе мерења деформације на одређивање дијаграма стварни напон – стварна деформација хетерогених заварених спојева“** кандидата **Ненада З. Милошевића**, маг. инж. маш., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 1.7.2021. год

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Александар Седмак, проф. емеритус
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Др Радица Прокић-Цветковић, ред. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Др Гордана Бакић, ред. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Др Вукић Лазич, ред. проф.
Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет

.....
Др Игор Мартић, научни сарадник
Иновациони центар, Машинског факултета у Београду