

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Срђе Перковића**, дипл.инж.маш., студента докторских студија

Одлуком бр. 924/3 од 13.07.2023. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „**Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика**“ кандидата **Срђе Љ. Перковића**.

На основу наведене одлуке Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Увод

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Срђа Перковић, дипл.инж.маш., уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2012/2013. године.

Кандидат је од уписа на докторске студије школске 2012/2013. године, у наредној школској 2013/2014. години био у статусу мировања по одобрењу Комисије за докторске студије (решење број 9/10545 од 25.09.2014.) У школској 2014/2015. години је обновио прву годину студија, а 2015/2016. школске године уписао другу годину. Школске 2016/2017. године ке обновио другу годину, као и наредне школске 2017/2018. године. Школске 2018/2019. године уписује трећу годину докторских студија, а наредне школске године 2019/2020. је у статусу мировања (по решењу број 1743/2 од 30.09.2019.). У школској години 2020/2021. је кандидату одобрен продужетак рока за завршетак студија по решењу бр. 1398/157 од 30.09.2020. године. Решењем број 1299/1 од 16.09.2022. године му је одобрен статус мировања у школској 2021/2022. години, а за школску 2022/2023. годину му је одобрен продужетак рока за завршетак студија по решењу бр. 9/18462 од 01.11.2022. године.

Кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 1618/1 од 26.10.2020. године на Катедри за Технологију материјала Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио Проф. др Зорана Радаковића, редовног професора Машинског факултета у Београду.

На основу сагласности Катедре Технологију материјала Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 21.01.2021. године Одлуку број 232/1 о именовану Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: др Зоран Радаковић, редовни професор

Машинског факултета у Београду, др Александар Грбовић, редовни професор Машинског факултета у Београду, др Ивица Чамагић, ванредни професор ФТН Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици. Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације је 12.03.2021. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду Извештај број 232/2, у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под насловом „Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика“, 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 232/3 од 18.03.2021. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика“ кандидата Срђе Перковића, и за ментора је именован др Зоран Радаковић, редовни професор Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-1344/2-21 од 12.04.2021. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Срђе Перковића.

На основу обавештења проф. др Зорана Радаковића да је кандидат Срђа Перковић, завршио докторску дисертацију под насловом: „Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика“ и предлога Катедре за Технологију материјала, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 13.07.2018. године донело Одлуку број 924/3 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Зоран Радаковић, ментор, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Милош Ђукић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Радица Прокић-Цветковић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Александар Седмак, професор емеритус Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Симон Седмак, научни сарадник, Иновациони центар Машинског факултета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика“. припада области техничких наука - машинству, ужој научној области **Технологија материјала**, Механика лома, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

1.3. Општи биографски подаци

Срђа Љ. Перковић је рођен 6.8.1973. у Београду. Завршио је основну школу „Марко Орешковић“ у Београду, Електро-машинску школу „Земун“ у Београду. Машински факултет у Београду је уписао 1992. године. Дипломирао је 2000. године на Катедри за ваздухопловство

са дипломским радом на тему “Одређивање и дефинисање облика летелице у почетној фази пројектовања” (са оценом 10,00 за дипломски рад) и просечном оценом током студија 8,13. Докторске студије је уписао школске 2012./2013. Испите предвиђене програмом докторских студија положио је са просечном оценом 9,64. Уз вођење Лабораторије за експерименталну чврстоћу у Сектору за ваздухопловство Војнотехничког института, учесник је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ТР 36050 (Истраживање и развој беспилотног ваздухоплова за подршку праћењу саобраћајне инфраструктуре).

Радно искуство

| | |
|---------------|--|
| 1996. | IAI – CAG (Israel Aircraft Industry – Civil Aviation Group), Израел; |
| 2001. – 2002. | Електро-машинска школа Земун; Електротехничка школа Никола Тесла; |
| 2002. | Машински факултет у Београду, Катедра за ваздухопловство; |
| 2002. - 2003. | “IT School @ Gozo”, Малта; |
| 2003. – 2006. | ПЕСИФИТ Инжењеринг д.о.о. Београд |
| 2006. – 2010. | ДАТ Инжењеринг д.о.о. Београд |
| 2011. - | Војнотехнички институту у Београду, тренутно на позицији начелника одсека за експерименталну чврстоћу. |

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата кандидата Срђе Перковића под називом „**Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика**“, садржи: 121 страну формата А4, 75 слика, 26 табела, 9 једначина и списак коришћене литературе који садржи 81 референцу. Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Основе механике лома
4. Дуплекс челици
5. Методе испитивања
6. Резултати испитивања
7. Обрада и анализа резултата
8. Закључци
9. 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

Предмет докторске дисертације у основи је анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на процену интегритета и преосталог радног века заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика S32750, према UNS стандарду, или W.Nr. 1.4410, према EN стандарду, или X2CrNiMoN25-7-4 по ISO стандарду, који може носити и трговачку ознаку 2507. Ова врста материјала је превасходно намењена за високо одговорне

динамички оптерећене конструкцијске елементе у хемијској и петрохемијској индустрији, а у новије време налази значајну примену и у ваздухопловству, посебно код израде хидроинсталација. По добијењу резултата испитивања, уследиће анализа утицаја ударног и променљивог оптерећења на понашање основног материјала и компонената завареног споја, а све у циљу процене интегритета и преосталог века конструкције, односно ревитализације и продужења радног века.

Опште је познато да су машинске конструкције у експлоатацији доминантно изложене деловању променљивог оптерећења, а проблем се додатно усложњава присуством завареног споја и могућим и реално вероватним присуством грешака типа прслине. У случају постојања оштећења, потребно је прецизно проценити интегритет конструкције и донети одлуку о њеној даљој експлоатацији. Због тога је порастао значај процене интегритета и продужења радног века, као и ревитализације, као начина да се старије машинске конструкције задрже у експлоатацији.

Као полазни податак о применљивости конструкцијских материјала и заварених спојева служе карактеристике, које се добијају затезним испитивањем (напон течења, затезна чврстоћа, издужење при лому), а оне су и основа за конструкцију делова. Ове карактеристике описују глобално механичко понашање материјала, које се добија испитивањем глатких епрувета. Допунски подаци о понашању материјала се добијају ударним испитивањем (енергија лома епрувете са зарезом). Она представља локално понашање материјала, условљено постојањем концентрације напона у виду зареза. Код ударних испитивања могућност раздвајања укупне енергије удара на енергију стварања и енергију ширења прслине (лома) унела је нови приступ у процени понашања материјала.

Поглавље 2: Преглед литературе

Овим поглављем је приказан преглед литературе која се бави како општом проблематиком дуплекс челика тако и досадашњим истраживањима која третирају заварене спојеве дуплекс челика и њихово понашање у различитим условима експлоатације. Поред наведеног разматрања је и литература која се бави методологијом процене интегритета заварених конструкција.

Поглавље 3: Основе механике лома

У овом поглављу су приказане основе механике лома која представља темељ за сва даља испитивања, анализе и оцене, како материјала тако и заварених спојева. Поред дефинисања појмова, у овом поглављу су и укратко описани и стандарди по којима су вршена испитивања и анализирани резултати. Посебна пажња је посвећена стандарду ASTM E1820, Анекс 17, којим су дефинисани захтеви за извођење и оцену испитивања на Шарпијевом клатну епрувета са зармоном прслином, са аспекта механике лома.

Поглавље 4: Дуплекс челици

У овом поглављу се дају основне информације и карактеристике о дуплекс челику S32750, као основном материјалу, и о додатном материјалу (TIG 22/9/3 LN) који је коришћен у процесу заваривања. Такође је, у овом поглављу описан и поступак заваривања (електролучно у заштитној атмосфери инертног гаса са нетопљивом електродом), а затим и методологија даље припреме стандардизованих узорака – епрувета, а све у циљу припрема за испитивање.

Поглавље 5: Методе испитивања

Овим поглављем се дефинишу методе испитивања и мерења уз кратке описе поступака који су били део припрема за испитивање. Коришћене су следеће методе: Одређивање хемијског састава, Анализа макро и микроструктуре, Мерење тврдоће, Испитивање затезањем, Испитивање ударне жилавости, Фрактографија, Мерење параметара раста заморне прслине. У овом поглављу је наведена апаратура и уређаји који су били коришћени за испитивање.

Поглавље 6: Резултати испитивања

У овом поглављу су представљени резултати испитивања и мерења која су вршена на самом материјалу и завареном споју, почевши од хемијске анализе, снимака преко мерења тврдуће и карактеристика материјала затезањем, па до испитивања ударне жилавости на инструментираним Шарпијевом клатну, где су у поглављу 6.5.1 дефинисане прелазне температуре за све области завареног споја. Уз то је урађено и мерење компонената ударне енергије – енергије настанка и енергије раста прслине (Поглавље 6.5.2). Урађено је и мерење брзине ширења прслине услед променљивог оптерећења, и резултати овог мерења су приказани у поглављу 6.7. Сви резултати испитивања су приказани табеларно и дијаграмима, у покушају да њихов приказ буде што систематичнији и подаци упоредљиви на очигледан начин, а све у циљу даље лакше анализе. У овом поглављу су такође дати и микроскопски прикази преломних површина добијених стерео микроскопом и скенирајућим електронским микроскопом.

Поглавље 7: Обрада и анализа резултата

У овом поглављу је извршена анализа добијених резултата свих испитивања уз примену критеријума дефинисаних у претходно наведеним стандардима. Извршене је карактеризација материјала анализом хемијског састава, микро и макроструктуре, као и испитивањем затезањем и мерењем тврдоће. Анализом резултата ударне жилавости је дефинисан фактор осетљивости на раст прслине за све области завареног споја, на свим испитним температурама, што је приказано у поглављу 7.5. У поглављу 7.7 је извршена анализа брзине ширења на основу којих је урађена процена преосталог века за неколико изабраних случајева оптерећења.

Поглавље 8: Закључци

Ово поглавље се надовезије на претходно, и даје сажето преглед резултата и њихово тумачење. На крају овог поглавља су изнети и правци у којима би ово истраживање могло да настави у будућности.

Поглавље 9: Литература

У овом поглављу је дата сва литература цитирана у оквиру доктората.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика“ кандидата Срђе Перковића, дипл.инж.маш., представља савремен и оригиналан допринос у области карактеризације завареног споја са аспекта употребе тог споја на ниским температурама и изложености ударном (импулсном) и динамичком (заморном) оптерећењу. Кандидат је дао јасну идентификацију и анализу основних фактора који утичу на отпорност завареног споја на раст заморне прслине, пре свега микроструктурне нехомогености. Докторска дисертација представља савремен и оригиналан допринос разматраној проблематици промене параметара лома услед утицаја нискох радних температура. У оквиру докторске дисертације примењени су савремени истраживачки поступци и лабораторијска мерења уз коришћење најновијих софтверских решења за анализу добијених резултата.

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

Анализом списка литературе која је коришћена током израде докторске дисертације може се закључити да је кандидат имао на располагању веома обимну, савремену и релевантну литературу из области механике лома, науке о материјалима, које указују на актуелност истраживања у испитиваној области. Већина референци представљају научне радове објављене у врхунским међународним часописима са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Истраживања приказана у наведеним референцама као и наведени стандарди су коришћена за планирање експерименталног рада, анализу и тумачење резултата добијених током израде докторске дисертације и извођење закључака. Такође, у наведеној литератури наведене су књиге и релевантни прегледни радови ранијег датума, који представљају базична сазнања из предметне области и полазну основу за тумачење експерименталних резултата. Прегледана обимна литература и приложени објављени радови указују на адекватно познавање предметне области истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради докторске дисертације примењене су и експерименталне и аналитичке методе. У оквиру реализације експерименталног дела докторске дисертације коришћене су како већ познате, тако и ситуацији прилагођене методе за израду и обраду заварених спојева, као и бројне методе за карактеризацију металних материјала.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и широку практичну примену, пре свега у прорачунима интегритета заварених конструкција, а и при карактеризацији материјала за употребу на ниским температурама. Остварени експериментални резултати омогућавају одређивање утицаја постојања завареног споја на интегритет

и радни век конструкција, а затим и утица ниске температуре током експлоатације. Методе коришћене у раду се могу применити на друге материјале у циљу проширења лепезе њихове примене, као и увођења ограничења која могу постојати за новоуведене намене.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације докторанд је показао способност за самостални научно истраживачки рад, као и да има смисао и знање неопходно да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме примењујући савремене методе теоријског и експерименталног карактера, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама потребним за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено како испитима које је докторанд положио на последипломским студијама, тако и објављеним научно-стручним радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси доктората огледају се у следећем:

- Утврђен је утицај микроструктуре на расподелу енергије удара на енергију настанка и енергију раста прслине у свим областима завареног споја применом Шарпи епрувета са зарезом и са додатном заморном прслином, чиме је омогућено и одређивање фактора осетљивости на прслине, што је приказано у поглављу 6.5 и дискутовано касније у поглављу 7.5, а верификован у раду под бр. 1 на стр. 13 и 14, и у раду бр. 2, стр. 7
- На основу енергије удара утврђена је температура преласка у крти лома за све области завареног споја (приказано у поглављу 6.5), чиме је одређена минимална температура експлоатације, а на основу брзине раста заморне прслине, кроз дискуију је у поглављу 7.7 утврђен преостали век, што чини практични научни допринос. Овај закључак је приказан и верификован у раду бр. 1 на стр. 14 и у раду бр.2, стр. 7.

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

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси кандидата Срђе Перковића, верификовани су следећим радовима:

1. **Perković S**, Sedmak A, Radaković Z, Burzić Z, Sedmak S, Radović L, Mandić J. *Effect of Temperature on S32750 Duplex Steel Welded Joint Impact Toughness*. MDPI Materials. 2023; 16(12):4432. <https://doi.org/10.3390/ma16124432>, **M21, IF=3.623**.
2. **Perković S.**; Radaković, Z.; Burzić, Z.; Sedmak, S.; Sedmak, A. Stress concentration effects on toughness value of duplex steel S32750, Struct. Integr. Life **2023**, 23, 3–7. <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk23/OF2301-1.html>, **M24, IF=0.4**.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом „**Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика**“ кандидата Срђе Љ. Перковића, дипл.инж.маш, прихвати, изложи на увид јавности и упути 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 Срђа Љ. Перковић, дипл.инж.маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област **Технологија материјала**, Механика лома.

У Београду, 17.7.2023. год

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Зоран Радаковић, редовни професор
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
др Милош Ђукић, редовни професор
Машински факултет Универзитета у Београду

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

.....
др Александар Седмак, професор емеритус
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
др Симон Седмак, научни сарадник
Иновациони центар машинског факултета Универзитета у Београду