

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Симона Седмака**, магист. инж. грађ., (M.Sc.) студента докторских студија

Одлуком бр. 1073/2 од 13.6.2019. именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Симона Седмака за израду докторске дисертације под називом **„Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“**. На основу материјала предложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Увод

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Симон Седмак, дипл. инж. грађ.– мастер инжењер грађевина, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2011/2012. године. Кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 311/1 од 7.2.2017. године на Катедри за Технологију материјала Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Зорана Радаковића, редовног професора Машинског факултета у Београду.

На основу сагласности Катедре за Технологију материјала 311/2 од 22.2.2017. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 2.3.2017. године Одлуку број 311/3 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

Проф. др Зоран Радаковић, ментор

Проф. др Љубица Миловић, Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду

Проф. др Александар Грбовић

Проф. др Радица Прокић-Цветковић,

Проф. др Ивица Чамагић, Факултет техничких наука, Универзитет у Приштини

Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације је 20.3.2017. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду Извештај број 311/4, у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под насловом „Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“, 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 311/5 од 30.3.2017. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“ кандидата Симона Седмака, 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 61206-1442/2-17 од 24.4.2017. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Симона Седмака, под насловом: „Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“.

На основу обавештења проф. др Зорана Радаковића да је кандидат Симон Седмак, завршио докторску дисертацију под насловом: „Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“ и предлога Катедре за Технологију материјала, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 13.6.2018. године донело Одлуку број 1073/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

Проф. др Зоран Радаковић, ментор

Проф. др Љубица Миловић, Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду

Проф. др Александар Грбовић

Проф. др Радица Прокић-Цветковић,

Проф. др Ивица Чамагић, Факултет техничких наука, Универзитет у Приштини

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“. 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

Симон Седмак је рођен 28.2.1984. у Београду. Завршио је основну школу „Свети Сава“ у Београду, Математичку Гимназију у Београду. Грађевински факултет у Београду је уписао 2003. Основне и мастер дипломске студије је завршио 2011. са просеком 8.55, на смеру за конструкције, на Факултету за Грађевински Менаџмент, Универзитета "Унион Никола Тесла". Докторске студије је уписао у јануару 2012. До сада је положио све предмете на докторским студијама.

Радно искуство

2012 - Иновациони центар Машинског факултета у Београду,

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Симона Седмака под називом „**Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења**“, садржи: 203 стране формата А4, 137 слика, 18 табела, 88 једначина и списак коришћене литературе који садржи 96 референци.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Механика лома
4. Основни принципи методе коначних елемената
5. Материјали и њихове примене на посуде под притиском
6. Експериментална испитивања
7. Нумеричка симулација раста заморне прслине
8. Дискусија и 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 - Представљање значаја анализираног проблема

Тема ове докторске дисертације је везана за испитивање понашања заварених спојева од челика P460NL1 изложених динамичком (заморном) оптерећењу, при чему испитивање обухвата експерименте и нумеричку симулацију. Раст прслине услед замора је сам по себи, релативно нова тема истраживања у области механике лома и интегритета и века конструкција, и дан-данас још увек није до краја разјашњен феномен. У овом случају, идеја је била да се отпорност на замор заварених спојева повеже са микроструктуром различитих области, и то за неколико различитих случајева положаја зареза у епрувети, односно, положаја заморне прслине.

Што се тиче избора материјала, он је био условљен искуством везаним за челике за посуде под притиском. Међу овим челицима, најчешће је анализиран управо челик P460NL1, због својих веома повољних својстава за примену у изради посуда под притиском. Упркос томе, понашање конструкција од овог челика изложених заморном оптерећењу још увек није детаљно разматрано, што је такође у великој мери допринело одлуци да се за основни материјал усвоји управо овакав челик.

Првобитна замисао је била да фокус буде пре свега на нумеричкој симулацији, али услед чињенице да је квалитетну анализу овакве врсте немогуће спровести без бројних и поузданих експерименталних испитивања, тежиште је пребачено на експериментални део, на који се метода коначних елемената у великој мери ослањала. Од неких изворних идеја везаних за симулације (дељене зоне утицаја топлоте) се одустало након што су експерименти показали да у овом случају хетерогеност ЗУТ-а није имала пресудан значај на понашање при замору. Уместо да се заварени спој подели стриктно на своје основне области (основни метал, метал шава, зона утицаја топлоте), подела је извршена на основу промена у микроструктури, те се тако поред горе поменутих области такође јављају и њихове комбинације. Увођење утицаја микроструктуре у целу причу је такође инспирисало и део дисертације везан за утицај расподеле температуре током самог поступка заваривања. Овај утицај је разматран само у одређеној мери, и даље, детаљније, проучавање ефеката које има унос топлоте, односно, промена температуре дуж завареног споја ће бити тема неког наредног истраживања.

Поглавље 2: Преглед литературе У овом поглављу су приказани радови и докторске тезе који су везани за тему дисертације, као и радови који су инспирисали целокупно истраживање, односно, радови са којима је цела ова прича започета. Први наведени рад се бавио испитивањем утицаја одређених врста грешака завареног споја на расподелу и концентрацију напона, за случај посуда под притиском, направљених од предметног челика. Идеја овог рада била је да се осмисле нумерички модели који могу веродостојно да прикажу понашање заварене конструкције у присуству различитих грешака, и добијени су задовољавајући резултати, наравно на основу претходно експериментално одређених података неопходних за симулацију. Овај пример наведен је као уводни услед тога што је био први ауторов рад који се бавио овим челиком, као и због своје једноставности. Следећи рад је фокусиран на утицај температуре на заморно понашање челика, пре свега везано за микроструктурне промене. Материјал описан у овом раду је у великој мери сличан предметном челику (феритно-перлитни са повишеном чврстоћом), и добијени резултати су такође показали одређене значајне разлике у вредностима Парисових коефицијената. Наредни радови представљају докторске дисертације на тему заваривања челика повишене чврстоће, који су обухватили експериментална испитивања веома налик онима која су извршена у оквиру ове дисертације, будући да је коришћена иста опрема и веома слични параметри при испитивањима. Ови радови су такође били фокусирани на утицај микроструктуре различитих области завареног споја, односно, на утицај хетерогености на њихово понашање у експлоатацији, при чему су примењени исти поступци заваривања као и у случају овог доктората. У оквиру друге дисертације приказане у овом поглављу је такође урађена и

нумеричка симулација, која је представљала један од основа за овај рад. Уз то је приказан и поступак испитивања тврдоће области завареног споја, који је касније примењен и у предметној дисертацији. Нумерички део истраживања је најдетаљније описан у последњој дисертацији, која приказује симулацију раста заморне прслине кроз различите области завареног споја, са фокусом на ситнозрни и грубозрни ЗУТ, применом Комплетног Гурсоновог Модела.

Поглавље 3: Механика лома. Овим поглављем су обухваћени основни принципи механике лома, њени параметри и неки од модела. Такође је описан и феномен замора, који представља главну тему овог истраживања. Механика лома се често примењује при процени интегритета заварених конструкција, међу њима и посуда под притиском, код којих често долази до отказа управо услед замора. Стога је ова област детаљно представљена и примењена при нумеричкој анализи резултата добијених одговарајућим експериментима. Главни разлог за ово лежи у присуству прслине у завареном споју, на чему се и концепт механике лома заснива.

Поглавље 4: Основни принципи методе коначних елемената. У овом поглављу кандидат се бави нумеричком симулацијом разматраног проблема, тј. применом МКЕ коришћењем софтверских пакета ANSYS. У том циљу направљен је тродимензиони модел епрувета за савијање у три тачке да би се добила прецизна расподела деформација и напона, односно, верификовао нумерички модел, као и експериментално мерење раста заморне прслине деформационим мерним фолијама. У овом поглављу је дат преглед теоријских основа МКЕ, и њене проширене варијанте, која је управо осмишљена са циљем да омогући реалну симулацију понашања конструкција оптерећених на замор.

Поглавље 5: Материјали и њихове примене на посуде под притиском. У овом поглављу је дат кратак преглед материјала коришћених за израду заварених спојева који су испитивани у оквиру дисертације, као и неке уопштене информације о групи челика којој предметни P460NL1 припада. Дате су и механичке особине основног и додатног материјала, уз кратак осврт на неке основне појмове везане за заваривање и поступке заваривања. У овом поглављу је такође дат и преглед експерименталних испитивања која су уследила након што су плоче заварене, при чему је примењен MAG поступак заваривања, са VAC 65 жицом како додатним материјалом, и заштитним гасом M21 (82% Ar + 18 % CO₂).

Поглавље 6: Експериментална испитивања. Ово поглавље обухвата детаљан опис свих експеримената, као и самог процеса заваривања. У оквиру експерименталног дела су урађена седећа испитивања: мерење температуре током заваривања, испитивање затезањем, жилавост, мерење тврдоће, металографска испитивања, фрактографија и одређивање Парисових коефицијената преко савијања у три тачке на фрактомату. За потребе ових испитивања је израђен одређен број епрувета (укупно 34), подељених у 4 групе. Укупно 17 епрувета је употребљено за испитивање жилавости на Шарпијевом клатну, 12 је предвиђено за заморна испитивања (укупно 8 је искоришћено), док су 3 епрувете урађене за потребе испитивања затезањем (2 су испитане). Преостале две епрувете су узете за потребе испитивања тврдоће. Такође је дат и поступак дефинисања параметара заваривања и

одређивања температура предгревања, као и међупролазних температура. Резултати свих обављених испитивања су дати у облику слика и табела. Ови резултати су затим укратко објашњени и дата су њихова међусобна поређења.

Поглавље 7: Нумеричка симулација раста заморне прслине. Ово поглавље обухвата примену проширене методе коначних елемената (ПМКЕ) на нумеричку анализу понашања епрувета изложених дејству заморног оптерећења. У оквиру овог дела дисертације је дат кратак опис одабраног приступа, као и неких идеја које су разматране али су на крају одбачене. Такође су дефинисани и услови оптерећења, гранични услови, као и одабрани коначни елементи и њихова мрежа. Приказани су резултати симулације одређеног броја модела који су представљали сваку појединачну област завареног споја. Нумеричком анализом је праћен раст прслине кроз ове области, како би се утврдио број циклуса потребан да се достигне жељена експериментална вредност (од 5 mm у овом случају). Такође су дате и израчунате вредности одговарајућих параметара механике лома, и упоређени су бројеви циклуса потребни за прелаз између одговарајућих, суседних области завареног споја.

Поглавље 8: Дискусија и закључци се надовезује на Поглавље 6, и даје детаљнији преглед резултата и њихово тумачење. На крају овог поглавља су представљени и закључци изведени на основу целокупног истраживања, њихов допринос, као и правци у којима би ово истраживање могло да се 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

Истраживања у области понашања посуда под притиском и цевовода су веома значајна и актуелна. 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 лома услед постојања грешака типа прслина у материјалу, посебно завареном споју. 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 обимна литература из различитих области, па су због изразито комплексног карактера теме докторске дисертације референтне области обухватале механику лома и понашање металних материјала, нумеричке методе и симулације, али и експерименталне методе испитивања. Ова литература је кандидату

послужила као полазна основа за формирање прегледа постојећих истраживања везаних за област отказа услед лома посуда под притиском, као и за припрему експеримената и нумеричких модела. У уводном делу докторске дисертације кандидат приказује хронолошки преглед релевантне научне литературе, чиме је дао критички осврт на најважније резултате релевантних аутора. 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 млађе од десет година, као и оне из водећих међународних часописа.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради докторске дисертације примењене су и експерименталне и нумеричке методе. Метода коначних елемената у савременој науци има све већу примену и користи се за испитивања и прорачуне различитих машинских конструкција. 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 интегритета заварених конструкција као што су посуде под притиском и цевоводи. Остварени експериментални резултати омогућавају одређивање утицаја замора и различитих геометрија, као и нехомогености завареног споја, које се могу наћи у пракси, на напонско стање, интегритет и радни век заварених конструкција, пре свега посуда под притиском. Дијагностичке методе имају велику примену у откривању грешака у дизајну, односно, геометрији конструкције или дела конструкције, посебно у случајевима отказа, а досадашња искуства из праксе показала су да најчешћи узрок отказа представљају појаве прслина на местима највећих концентрација напона, а које је могуће остварити нумеричким прорачуном.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат је показао способност за самостални научни рад, као и да решава научне проблеме, односно, да има изузетно знање у оквиру области науке о материјалима, затим теоријске механике лома, као и савремене нумеричке анализе, 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 је утврђивање утицаја микроструктуре заварених спојева на отпорност на раст заморне прслине, чиме је омогућена процена века микролегираних челика повишене чврстоће, што је објављено у раду наведеном под бр. 1.

Остали научни доприноси се односе на:

- Успостављање процедуре верификације нумеричких и експерименталних резултата испитивања посуде под притиском, чиме је омогућена примена комплексних симулација заварених конструкција и процена њиховог интегритета, узимајући у обзир утицај микроструктуре заварених спојева, објављен у раду под бр. 2
- Одређен је утицај температуре и унете топлоте током поступка заваривања на микроструктуру заварених спојева, објављен у раду под бр. 3.
- Утврђено је напонско стање око грешке типа прслине у завареним спојевима микролегираних челика, објављен у раду 4.
- Утврђено је понашање челика P460NL1 под дејством променљивог оптерећења, односно, отпорност на раст заморне прслине у зависности од њеног положаја у ЗУТ, који је објављен у раду 5.

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 нумерички модели и експерименталне процедуре имају велику применљивост у области процене интегритета и века заварених конструкција.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси кандидата Симона Седмака, верификовани су следећим радовима:

1. **S.A. Sedmak**, Z. Burzić, S. Perković, R. Jovičić, M. Arandelović, Lj. Radović, N. Ilić, Influence of welded joint microstructures on fatigue behaviour of specimens with a notch in the heat affected zone, представљен на конференцији FRACT, Алжир, 2018, прихваћен за објављивање у VSI Engineering Failure Analysis, 2019 → **M21**
2. Sedmak Simon A, Algoool Mandi, Sedmak Aleksandar S, Tatic Uros, Dzindo Emina S, Elastic-plastic behaviour of welded joints during loading and unloading of pressure vessels, 21ST ECF21, Procedia Structural Integrity, 2016 2 ():3546-3553, M33, индексан SCOPUS
3. R. Jovičić, **S.A. Sedmak**, N. Ilić, Lj. Radović, S. Štrbački, M. Antić, Z. Burzić: The impact of groove edge temperature and heat input on the structure and hardness of the heat affected zone of steel P460NL1 welded joint, Welding and Welded Structures, Vol. 63, No. 3, 2018. → **M51**
4. R. Jovičić, **S.A. Sedmak**, U. Tatić, U. Lukić, W. Musraty, Stress state around imperfections in welded joints, Structural Integrity and Life, Vol 15, No. 1, 2015. M24
5. **S.A. Sedmak**, Z. Burzić, S. Perković, R. Jovičić, M. Arandelović, B. Đorđević, Z. Radaković: Experimental determining of Paris law coefficients for steel P460NL1 welded joint specimens, 2nd International Conference on Structural Integrity and Durability, 2018. M33

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да се докторска дисертација под називом **„Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“** кандидата Симона Седмак, маг. инж. грађ., 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 Симон Седмак, маг. инж. грађ., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација под називом **„Процена интегритета и века заварених спојева микролегираних челика повишене чврстоће при дејству статичког и динамичког оптерећења“** представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област Технологија материјала, Механика лома.

У Београду, 27.6.2019. год

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
Др Љубица Миловић, ред. проф.
Технолошко-металуршки Факултет Универзитета у Београду

.....
Др Александар Грбовић, ванр. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

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

.....
Др Ивица Чамагић, доцент
Факултет техничких наука, Универзитета у Приштини