

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

1635/5

(Број захтева)

20.10.2014. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06)“, дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

СРЂАНА (МИЛОВАН) БУЛАТОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **СРЂАН (МИЛОВАН) БУЛАТОВИЋ** уписан на Докторске студије 2010. године.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

ЕЛАСТО-ПЛАСТИЧНО ПОНАШАЊЕ ЗАВАРЕНОГ СПОЈА ОД НИСКОЛЕГИРАНОГ ЧЕЛИКА ПОВИШЕНЕ ЧВРСТОЋЕ У УСЛОВИМА НИСКОЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРАУниверзитет је дана 20.01.2014. год. својим актом под бр. 61206-29/2-14 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:**ЕЛАСТО-ПЛАСТИЧНО ПОНАШАЊЕ ЗАВАРЕНОГ СПОЈА ОД НИСКОЛЕГИРАНОГ ЧЕЛИКА ПОВИШЕНЕ ЧВРСТОЋЕ У УСЛОВИМА НИСКОЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА**Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **СРЂАНА (МИЛОВАН) БУЛАТОВИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)Образована је на седници одржаној 04.09.2014. године, одлуком факултета под бр. 1635/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Александар Седмак	Ред. проф.	Технологија мат.- Маш. матер и заваривање	Машински факултет Београд
2. Др Љубица Миловић	Доцент	Технологија материјала	ТМФ Београд
3. Др Радица Прокић- Цветковић	Ред. проф.	Технологија мат.- Маш. матер. и заваривање	Машински факултет Београд
4. Др Зоран Радаковић	Ванредни проф.	Машински мат. и заваривање	Машински факултет Београд
5. Др Зијаж Бурзић	Научни саветник	Материјали и механика лома	Војно-технички институт Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 18.09.2014. године.ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАПроф. др Милорад Милованчевић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1635/4
Датум: 18.09.2014. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 30. Закона о високом образовању (Сл.гласник 76/05, 100/07 и 44/10) и чл. 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду и извештаја Комисије у саставу: проф.др Александар Седмак, ментор, доц.др Љубица Миловић, ТМФ Београд, коментор, проф.др Радица Прокић-Цветковић, проф.др Зоран Радаковић и др Зијах Бурзић, научни саветник, ВТИ Београд, о оцени докторске дисертације „Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора“ докторанта Срђана Булатовића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 18.09.2014. године, донело је следећу

О Д Л У К У

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„ЕЛАСТО-ПЛАСТИЧНО ПОНАШАЊЕ ЗАВАРЕНОГ СПОЈА ОД НИСКОЛЕГИРАНОГ ЧЕЛИКА ПОВИШЕНЕ ЧВРСТОЋЕ У УСЛОВИМА НИСКОЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА“** докторанта **СРЂАНА БУЛАТОВИЋА, дипл.инж.маш.**

Извештај о оцени и одбрани докторске дисертације, по истеку рока од 30 дана увида јавности, доставља се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, докторанту, ментору и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Срђана М. Булатовића**, дипл. инж. маш., студента докторских студија

Одлуком 1635/2 од 04.09.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Срђана Булатовића** под насловом

ЕЛАСТО-ПЛАСТИЧНО ПОНАШАЊЕ ЗАВАРЕНОГ СПОЈА ОД НИСКОЛЕГИРАНОГ ЧЕЛИКА ПОВИШЕНЕ ЧВРСТОЋЕ У УСЛОВИМА НИСКОЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА

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 Срђан Булатовић, дипл. инж. маш., уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011. године. Кандидат је пријавио тему докторске дисертације 17.09.2013. године под бројем 1702/1 на Катедри за Технологију материјала Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Александар Седмака, редовног професора Машинског факултета Универзитета у Београду, а за коментора др Љубицу Миловић, доцента Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. На основу сагласности Катедре за Технологију материјала бр. 1702/2 од 30.11.2013.године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, донело је 28.11.2013. год. одлуку бр. 1702/3 о формирању Комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: Проф. др Седмак Александар, ментор-Машински факултет Универзитета у Београду, Доц. др Љубица Миловић, коментор-Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, Проф. др Радица Прокић-Цветковић, Машински факултет Универзитета у Београду, Проф. др Зоран Радаковић, Машински факултет Универзитета у Београду и Др Зијаж Бурзић, Научни саветник Војно-техничког Института у Београду.

Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 23.12.2013. год., поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду извештај бр. 1702/4 о испуњености услова за одобрење тезе. Комисија је поднела извештај у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом „**Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора**“ наводећи да кандидат испуњава законске услове за израду

докторске дисертације, и да предложена тема као актуелна, атрактивна и значајна, може бити тема докторске дисертације. Одлуком Наставно-научног већа бр. 1702/5 од 26.12.2013. год. прихваћена је тема докторске дисертације под називом: **„Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора“** кандидата Срђана Булатовића, дипл. инж. маш., за ментора дисертације именован је Проф. др Александар Седмак, а за коментора Доц. др Љубица Миловић.

У вези са захтевом докторанта Срђана Булатовића, дипл. инж. маш., да се одобри израда докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, као и захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације Машинског факултета бр. 1702/6 од 26.12.2013 год. на седници одржаној 20.01.2014 године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је одлуку бр. 61206-29/2-14 којом се одобрава рад на предложеној теми докторске дисертације. На основу добијене одлуке, Наставно-научно веће Машинског факултета доноси Закључак бр. 217/1 од 21.1.2014.год., којом се одобрава рад на теми докторске дисертације **„Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора“**, кандидата Срђана Булатовића, дипл. инж. маш. За ментора дисертације именован је Проф. др Александар Седмак.

О завршетку докторске дисертације кандидата Срђана Булатовића, дипл. инж. маш. под називом: **„Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора“** и предлога комисије за оцену и одбрану, ментор Проф. др Александар Седмак обавестио је Катедру за Технологију материјала, а Катедра дописом бр. 1635/1 од 01.09.2014. год. Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду. Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: Проф. др Седмак Александар, ментор-Машински факултет Универзитета у Београду, Доц. др Љубица Миловић, коментор-Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, Проф. др Радица Прокић-Цветковић, Машински факултет Универзитета у Београду, Проф. др Зоран Радаковић, Машински факултет Универзитета у Београду и Др Зијаж Бурзић, Научни саветник Војно-техничког Института у Београду.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 04.09.2014. године донело одлуку бр. 1635/2 којом је усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом **„Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора“** припада области техничких наука, машинство, ужој научној области Машински материјали-Заваривање материјала, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Булатовић Срђан је рођен у Сарајеву 04.08.1983. Држављанин је Републике Србије. Основну школу је завршио у Београду као и XI Београдску гимназију, обе са одличним успехом. Студије на Машинском факултету Универзитета у Београду је уписао 2002. године, одсек Бродоградња. Дипломирао је 2009. године, кад је и одбранио дипломски рад са називом: “Прорачун насукана теретног брода” и стекао звање дипломирани инжењер машинства. Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду је уписао

школске 2010/2011 године. Што се тиче стеченог искуства, радио је у пројектантској фирми "Бродопроект" у периоду од априла 2010. године до јуна 2011. као пројектант челичних бродова. Од јуна 2011. године је запослен у фирми "АД Југословенско речно бродарство" где обавља послове заменика директора Сектора технике и одржавања. Током похађања докторских студија боравио је на једномесечним усавршавањима у областима замора материјала и механике лома на факултетима у Барију (Италија) 2012. године и у Удинама (Италија) 2013. године. Говори италијански и енглески језик.

Познавање вештина на рачунару и алата за пројектовање:

- Microsoft: Word, Excel, Power Point
- 2D и 3D моделирање: AutoCAD, SolidWorks
- бродски програми: Auto ship и Auto hydro

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Срђана Булатовића, дипл. инж. маш., под насловом „**Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора**“ је документ формата А4, штампан једнострано, са текстом на српском језику и изложен је на 173 нумерисане стране. У оквиру дисертације материја је приказана у укупно осам поглавља, док је на крају дат списак коришћене литературе као и прилози експерименталног дела рада. Дисертација садржи следеће:

1. Увод
2. Својства нисколегираних челика повишене чврстоће
3. Понашање материјала при променљивом оптерећењу
4. Проучавање нискоцикличног замора
5. Механика лома заварених спојева
6. Експериментални део
7. Анализа резултата
8. Закључак
9. Литература
10. Прилози

Текст дисертације је илустрован са 100 слика и дијаграма, садржи 21 табелу и 80 једначина. У попису коришћене литературе кандидат је навео 135 референци.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу „Увод“ дате су основне напомене о појму настајања замора под дејством променљивог оптерећења са акцентом на нискоциклични замор и пратеће постојање изражене пластичне деформације. Такође, споменути су сви важни термини и целине о којима ће оквиру овог рада бити посвећена посебна пажња. У оквиру поменутих целина су: нискоциклични замор, еласто-пластична механика лома са применом на оцену раста заморне прслине и ударна жилавост. У кратким цртама је објашњен садржај експерименталног дела дисертације базираног на проучавању понашања завареног споја нисколегираног челика повишене чврстоће под називом Nionikral 70 услед дејства нискоцикличног замора. Дефинисан је појам завареног споја, као хетерогене структуре и примера геометријске несавршености, услед којих долази до појаве прслина и других грешака. Стога је и уследило детаљно проучавање појаве заморних прслина а пре свега помоћу еласто-пластичне механике лома и њене примене на оцену раста заморне прслине.

У другом поглављу „Својства нисколегираних челика“ представљена су најбитнија механичка својства нисколегираних челика као и њихова примена у савременим завареним конструкцијама у разним гранама индустрије. Дате су главне предности у односу на друге конструкцијске челике. Анализом хемијског састава, дефинисан је утицај легирајућих елемената као саставних делова нисколегираног челика повишене чврстоће. Значајан део поглавља је посвећен заварљивости челика односно све већој заступљености спајања оваквих челика заваривањем, самим одабиром одговарајућег челика водећи рачуна на механичко-технолошка својства основног метала и завареног споја као целине. За оцену заварљивости нисколегираних челика у експлоатационим срединама, узети су у обзир елементи технолошког поступка приликом заваривања у виду начина и режима заваривања као и избора додатног материјала за заваривање. На крају овог поглавља, које се састоји од три подпоглавља, акценат је дат на ударна својства односно ударну жилавост као важног механичког својства челика услед динамичког оптерећења. Објашњен је начин испитивања ударним дејством силом над епруветама са зарезом, међу којима предњачи испитивањем са Шарпијевим инструментираним клатном. Ово испитивање је базирано на одређивању укупне енергије удара и њених компоненти, енергије стварања и енергије ширења прслине. Такође, дефинисан је појам прелазне температуре кртости односно нулте температуре пластичности, која је веома важан параметар при избору материјала услед прелаза истог из жилавог у крто стање.

У трећем поглављу „Понашање материјала при променљивом оптерећењу“ објашњен је начин деловања променљивог оптерећења, уведен је појам замора материјала, дефинисане су битне величине за описивање променљивог оптерећења. Како се ово поглавље састоји од четири подпоглавља, посебан акценат је дат на појму заморне прслине и њеном напредовању приликом појаве пластичне деформације, као важног фактора замора материјала у еласто-пластичној области. Такође, дефинисане су фазе раста заморне прслине и презентирана је генерална слика процеса настајања замора материјала. Представљен је експериментални приступ у решавању проблема замора у контексту добијања одговора како постићи сигурност и интегритет разматране заварене конструкције. Пошто се ова дисертација заснива на завареном споју, посебна пажња је на утицају хетерогености и механичких својстава завареног споја на раст и развој заморне прслине. Генерално посматрајући, дати су основни фактори који имају утицај на понашање завареног споја са прслином (хетерогеност, заостали напони, ометена деформација, несавршеност геометрије) а све у циљу израде квалитетног завареног споја због што боље поузданости и сигурности у свакодневној експлоатацији. Аналогно свему овом поменутом у оквиру овог поглавља, проблем заморног понашања се своди на проблем прслина тако да су представљена места најчешћег настајања заморних прслина уз појаву концентрације напона и присуство различитих механичких својстава.

У четвртном поглављу „Проучавање нискоцикличног замора“ на почетку су дате основне напомене о постојању замора материјала, његовој дефиницији, општој подели на високоциклични и нискоциклични замор. Пошто је овај научни рад базиран на нискоцикличном замору, тако да је описано понашање материјала при дејству истог. У оквиру описа понашања материјала при нискоцикличном замору дати су подаци о самом начину испитивања, дати су најважнији показатељи нискоцикличног замора у смислу цикличне пластичне деформације, представљен је напонско-деформациони одзив у облику идеализоване хистерезисне петље помоћу које су добијени амплитуде напона, амплитуде деформације, максимални и минимални напони као и остали важни подаци који учествују у оцени целокупног понашања материјала под дејством нискоцикличног замора. Ово поглавље је засновано на шест подпоглавља, међу којима је већи део њих посвећен начину одређивања две најважније релације нискоцикличног замора: циклично напонско-деформационој кривој (Рамберг-Озгудова релација) и кривој деформација-век (Мансон-Кофинова релација). Прва релација је послужила за оцену понашања материјала при нискоцикличном оптерећењу при

поређењу са монотоним напонско-деформацијом кривом у контексту дефинисања цикличних и монотоних карактеристика. Друга релација је послужила за одређивање удела пластичне и еластичне компоненте у зависности од броја циклуса до иницирања прслине при нискоцикличном заморном оптерећењу као и за одређивање прелазног односно заморног века. Презентиране су главне методе при пројектовању са сигурним веком у односу на замарајуће оптерећење што је у свакодневној пракси од великог значаја. Такође, посвећена је пажња напонско-деформационом одзиву у области локалних пластичних деформација где су представљене и дефинисане неке од метода за идентификацију истог у критичним тачкама. Међу најпознатијим методама идентификације напонско-деформационог одзива је теоретски обрађена метода Неуберова правила у изворном и модификованом облику (Сонсинова модификација). На крају је представљен проблем акумулације заморног оштећења конкретне машинске дела који је базиран на одређивању одговарајућих степена оштећења у свакој појединој степеници на основу одговарајућих испитивања при константним амплитудама као и сумирању степена оштећења по свим степеницама у укупан степен оштећења.

У петом поглављу „Механика лома заварених спојева“ поред почетних теоретских основа механике лома, највећи део поглавља је посвећен еласто-пластичној механици лома заварених спојева и примени њених параметара за оцену раста заморне прслине за карактеристичне области завареног споја (ОМ, МШ и ЗУТ). Поглавље се састоји од два већа подпоглавља с тим што је прво подпоглавље подељено на три мања подпоглавља која се базирају на теоретске аспекте параметара еласто-пластичне механике лома са посебним освртом на J интеграл као универзални параметар механике лома. Прецизније, презентирана је примена J интеграла кроз три важне карактеристике: независност од путање интеграције, напонско-деформациони сингуларитет око врха прслине и идентификацију са брзином ослобађања енергије. Такође, описана је и веома важна примена J интеграла на почетак раста прслине завареног споја у виду дијаграма J - Δa , где је Δa прираштај дужине прслине. После је спроведен поступак добијања J - R кривих са циљем одређивања критичне вредности J интеграла помоћу J - R криве, које ће бити примењен у експерименталном делу рада. Оправданост употребе J интеграла на процену интегритета завареног споја је заснована на две чињенице: J интеграл као параметар еласто-пластичне механике лома дефинише геометрију тела са прслином и оптерећење помоћу силе раста прслине и J интеграл је мера отпорности завареног споја материјала на раст прслине (J - R крива) а све у циљу анализе раста прслине заварених спојева. Крајњи део овог поглавља је базиран на поменутој примени параметара за оцену раста заморне прслине за карактеристичне области завареног споја у виду примене Парисове релације, у којој је брзина раста заморне прслине (da/dN) упоређена са опсегом фактора интензитета напона на врху прслине (ΔK).

На основу претходних пет поглавља, базираних на теоретским основама, у шестом поглављу је представљен „Експериментални део“. На самом почетку је приложен циљ експеримента из кога је касније проистекао план експеримента. Као припрема за главна испитивања, урађена је припрема у виду ручно електро-лучног заваривања, израде потезних епрувета за експеримент, мерења тврдоће Викерсовом методом и израчунавања затезних својстава завареног споја нисколегираног челика повишене чврстоће под називом Nionikral 70. После, на основу плана су респективно урађена испитивања: ударна жилавост завареног споја NN-70, прорачун понашања завареног споја челика NN-70 услед дејства нискоцикличног замора, одређивање критичне вредности J интеграла завареног споја NN-70 као и одређивање брзине раста заморне прслине конституената завареног споја NN-70. Важно је напоменути да теорија респективно прати експериментални део дисертације односно добијени резултати су презентирани по реду као што је и презентирана теорија у оквиру првих пет поглавља.

Седмо и осмо поглавље ове дисертације, односно „Анализа резултата“ и „Закључак“ су директно повезани са шестим поглављем (Експериментални део“) и произилазе из њега. Тако да су представљена запажања из анализе резултата ударне жилавости, нискоцикличног замора, паарметара механике лома. Закључак је представио сублимацију научних и стручних доприноса остварених у дисертацији и дао једно свеобухватно виђење добијених резултата испитивања. Такође, у оквиру закључка су наведене неке смернице за будући рад остављајући ову актуелну тему отворену за нека будућа истраживања.

На крају докторске дисертације дат је преглед литературе у виду 135 референци, што страних што домаћих, које су помогле у изради исте. Такође, у прилогу су се налазили преостали дијаграми ударне жилавости и испитивања на нискоциклични замор.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора“ кандидата Срђана Булатовића, дипл. инж. маш. представља савремен и оригиналан приступ и допринос савременим могућностима прорачуна понашања заварених спојева услед дејства нискоцикличног замарајућег оптерећења као представника променљивог оптерећења.

Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру ове дисертације потврђују радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима. Дисертација се може оценити веома успешном, узевши у обзир да су презентирани резултате и анализу резултата у тези пратили зрели научни и инжењерски закључци.

У дисертацији је коришћен је савремени начин решавања и уједно анализе еласто-пластичног понашања завареног споја NN-70 услед нискоцикличног замора као и примене параметара механике лома у еласто-пластичном подручју. За прорачун на нискоциклични замор коришћене су најсавременије методе за добијање циклично напонско-деформационе криве и криве деформација-век које су главни показатељи овог прорачуна. Највећи напредак је показан у решавању односно одређивању броја циклуса до иницирања прслине из дијаграма екстремних вредности напона. Генерално, кандидат је на скроз оригиналан начин извршио анализу улоге заморне прслине у условима замора материјала кроз оцену понашања материјала на нискоцикличном замор као и кроз примену параметара еласто-пластичне механике лома.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Од укупно 135 цитираних публикација, 80 научних радова је објављено у реномираним међународним часописима, док је преостала литература базирана на докторским и магистарским тезама, стручним књигама из области испитивања као и стандардима који су употребљени у оквиру овог експерименталног испитивања. Кандидат се потрудио да литература буде што новијег датума издавања тако да су 96 референци настале у периоду од 2000. године па до данас. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа тренутног стања у вези са постојећим истраживањима у области истраживања на коју се дисертација односи. Такође, ова литература му је послужила да што боље сагледа досадашња постигнута истраживања у области дисертације. На тај начин кандидат је дао критички осврт на најважније резултате релевантних аутора и приказ постојећег стања у областима којој припадају проблеми решени у докторској дисертацији. При томе, коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе која осим прегледа постигнутих резултата указује на могуће правце даљег научног рада.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методе које су примењене у овој дисертацији одговарају методологији истраживања из области нискоцикличног замора материјала са освртом на настајање заморне прслине услед дејства истог. Поред теоретских метода, експерименталне методе су разматране кроз приказ механичких својстава, приказ резултата испитивања отпорности материјала на дејство нискоцикличног замора, приказ резултата одређивања параметара еласто-пластичне механике лома са применом истих на раст заморне прслине као и приказ резултата ударних испитивања. Генерално, једначине и релације дефинисане у оквиру теоретског дела су примењене у оквиру експерименталног дела рада. Када је у питању најзначајнија област овог рада, понашање завареног споја NN-70 на нискоциклични замор, примењена је метода задатих контролираних деформација са фактором асиметрије -1, дефинисаних помоћу синусне тригонометријске функције а све у циљу добијања релација за конструисање циклично напонско-деформациона криве и криве деформација-век. У случају одређивања параметара еласто-пластичне механике лома односно одређивања критичне вредности J интеграла, експеримент је изведен методом испитивања једне епрувете сукцесивним парцијалним растерећењем (техником савијања једне епрувете наизменичним оптерећењем и растерећењем), односно методом попустљивости једне епрувете. Брзина раста прслине је одређена методом односно применом Парисове релације која доводи у везу брзину раста заморне прслине (da/dN) са опсегом фактора интензитета напона на врху прслине (ΔK) у линеарном делу криве. Одређивање прелазне температуре кртости у оквиру испитивања ударне жилавости је одређено методом $27 J$ односно одређена је температура при којој је укупна енергија удара $27 J$.

3.4. Применљивост остварених резултата

Истраживања спроведена током израде дисертације представљају добру основу за даљи рад. Прорачун отпорности материјала, у овом случају завареног споја нисколегираниог челика повишене чврстоће Nionikral 70, на нискоциклични замор, за разлику од досадашњих публикованих радова уводи детаљнију слику оцене понашања самог материјала при замарајућем оптерећењу. То се највише уочава у увођењу више параметара нискоцикличног замора као и цикличних карактеристика тако да се помоћу њих добијају боља и квалитетнија решења. Остварени резултати ће послужити као помоћ при спречавању или накнадној идентификацији и уклањању проблема са заморним оштећењима нисколегираних челика повишене чврстоће при различитим условима експлоатације. Такође, ови резултати ће нам дати важне податке о разумевању самог променљивог оптерећења материјала чија је примена данас широко распрострањена за опрему изложу на нискоцикличном замору у различитим индустријским гранама привреде. Када су у питању резултати ударних испитивања, одређена прелазна температура конституената завареног споја челика NN-70 ће дати веома важне вредности отпорности ка преласку из жилавог у крто стање сваког од конституената завареног споја. Резултати еласто-пластичне механике лома односно резултати жилавости лома говоре да хетерогеност завареног споја има значајан утицај на отпорност према стварању прслине, како у еластичном тако и у пластичном подручју, што се може применити у случајевима пројектовања заварених конструкција.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидат је показао да поседује могућност самосталног решавања научних проблема. Такође, показао је и да влада научним и истраживачким методама. Поседује широко стручно и теоријско знање потребно за даљи научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни допринос докторске дисертације „Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора“ је вишеструк и огледа се у следећем:

- 1) Развијен и дефинисан квалитетан прорачун за добијање параметара и цикличних карактеристика нискоцикличног замора
- 2) Анализа настајања лома при нискоцикличном оптерећењу услед задате деформације
- 3) Одређивање стабилизованог циклуса при променљивом оптерећењу
- 4) Спровођење напонско-деформационе анализе због квалитетније анализе напонско-деформационог стања и анализе еласто-пластичне области
- 5) Анализа присуства цикличне пластичне деформације као главног параметра нискоцикличног замора
- 6) Прецизно геометријско одређивање броја циклуса до иницирања прслине у оквиру даљег одређивања стабилизованог циклуса
- 7) Доказ да различите вредности модула еластичности (динамички и статички) не утичу на оцену понашања материјала при нискоцикличном замору
- 8) Погодност параметара еласто-пластичне механике лома за проучавање понашања завареног споја односно заморне прслине при променљивом оптерећењу
- 9) Потврда геометријске несавршености завареног споја NN-70 при одређивању раста заморне прслине конституената завареног споја у виду различитих вредности отпорности на ширење прслине
- 10) Аналогно претходном, потврда хетерогене структуре завареног споја у виду различитих вредности прелазне температуре при различитим температурама испитивања

Горе наведене ставке у оквиру оствареног научног доприноса су само у кратким цртама дефинисане. Важно је напоменути, да је испитивање отпорности завареног споја на нискоциклични замор на собној температури добра основа за испитивања на различитим температурама и употребе једног те истог материјала у различитим стањима.

Поменути прорачун за добијање параметара и цикличних карактеристика нискоцикличног замора се може применити за што боље описивање понашања материјала у условима нискоцикличног замора, што је од великог значаја за испитивања осталих материјала при оцени цикличног понашања. Између осталог, овај прорачун може послужити као модел за процену радног века и укупан процес пројектовања на променљиво оптерећење. Такође, овај прорачун би могао послужити за оснивање пројеката који би у себи садржали веома сложене активности изградње поузданог машинског дела за процену рада века.

Тачно одређивање стабилизованог циклуса, при променљивом оптерећењу, је од значаја због конструисања стабилизоване хистерезе, као показатеља напонско-деформационог одзива.

На основу цикличне пластичне деформације при променљивом оптерећењу, као веома важног параметра нискоцикличног замора материјала, су формулисане емпиријске зависности променљивог напона, укупне деформације и заморног века.

Број циклуса до иницирања прслине (број циклуса до појаве заморне прслине) је одређен на основу ранијих научних истраживања, где су искуствено уочени пропусти у самом одређивању броја циклуса (који су овом раду отклоњени) као и на основу стандарда базираних на овој тематици. Помоћу ове вредности су одређени стабилизовани циклуси.

Такође, пажња је дата на одређивање модула еластичности, који фигурише у релацијама за конструисање циклично напонско-деформационе криве и монотонно напонско-деформационе криве. Доказано је из прорачуна, да вредност модула еластичности не утиче на крајњу оцену понашања материјала при променљивом оптерећењу тако да је узета једна вредност (динамички модул) за обе релације из којих се конструишу поменуте криве.

J интеграл, као универзални параметар еласто-пластичне механике је пружио могућност анализе прслине у еластичном и у пластичном пољу напона. Стога је сасвим оправдано увођење његове примене у испитивању заморних прслина на собној температури у овакој хетерогеној структури, какав је заварени спој нисколегираног челика повишене чврстоће Nionikral 70. Код испитивања критичне вредности J интеграла, отпорност код завареног споја челика NN-70 према стварању прслине је највећа код ОМ, што се могло и очекивати због хетерогености структуре и услова испитивања када су у питању МШ и ЗУТ.

Између осталог, своју геометријску несавршеност и хетерогену структуру, заварени спој је такође потврдио у оквиру испитивања одређивања раста заморне прслине за конституенте завареног споја, где се види да најлошију отпорност на ширење прслине односно највећу брзину раста заморне прслине (da/dN) има узорак са прслином у ЗУТ. У оквиру ударних испитивања, се види да су вредности енергије стварање прслине на различитим температурама највеће код ОМ у односу на ЗУТ и МШ, што се може повезати са тумачењем са вредностима прелазне температуре, која је најбољу отпорност ка преласку у крто стање односно ка преласку из жилавог у крто стање показала код узорака у ОМ.

Општи закључак, у оквиру ове докторске дисертације, се базира на практичном доприносу оцене еласто-пластичног понашања нисколегираног челика повишене чврстоће под називом Nionikral 70 у условима променљивог оптерећења односно у условима нискоцикличног замора.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом литературе и сагледавања постојећих решења из научне области дисертације, констатујемо да су решења добијена у тези оригинална и значајна, те да су применљива у пракси. Између осталог, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у дисертацији можемо закључити да су пружени одговори на сва битна питања и решени проблеми са којима се кандидат Булатовић Срђан сусрео у току истраживања.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос је доказан публикацијама које су резултат докторске дисертације:

Радови у часописима:

Категорија М 22

- **Bulatović S.**, Milović Lj., Sedmak A, Samardžić I., *Identification of low cycle fatigue parameters of high strength low-alloy (HSLA) steel at room temperature*, Journal for Theory and Practice in Metallurgy-Metalurgija, Vol. 53, No. 4, pp. 466-468, 2014 (**IF=0,755**) (ISSN: 0543-5846)
- **Bulatović S.**, Burzić Z., Aleksić V., Sedmak A., Milović Lj., *Impact of choice of stabilized hysteresis loop on the end result of investigation of high-strength low-alloy steel on low cycle fatigue*, Journal for Theory and Practice in Metallurgy-Metalurgija, Vol. 53, No. 4, pp. 477-480, 2014 (**IF=0,755**) (ISSN: 0543-5846)

Категорија М24

- Milovic Lj., **Bulatovic S.**, Alekxic V., Radakovic Z., Markovic S., Sedmak S., *Assessment of the behaviour of fatigue loaded HSLA steel welded joint by applying fracture mechanics parameters*, Structural integrity and life, Vol. 12, No. 3, pp. 175-179, 2012 (ISSN: 1451-3749)

Категорија М53

- **Bulatovic S.**, Alekxic V., Milovic Lj., *Failure of steam line causes determined by NDT testing in power and heating plants*, Frattura ed Integrità Strutturale, No. 26, pp. 41-48, 2013; DOI:10.3221/IGF-ESIS.26.05 (ISSN: 1971-8993)

Саопштење са међународног скупа, штампано у целини (М33):

- Milovic Lj., **Bulatovic S.**, Alekxic V., Burzic Z., *Low cycle fatigue of weldments produced of a high strength low alloyed steel*, 20th European Conference on Fracture (ECF 20) 2014, Trondheim, Norway, Procedia Materials Science, pp. 1429-1434
- Alekxic V., **Bulatovic S.**, Alekxic B., Milovic Lj., *NDT in function prevention of loss integrity of structures large dimensions*, Contemporary achievements in civil engineering 2014, Subotica, Serbia, pp. 61-66
- Alekxic V., Milovic Lj. **Bulatovic S.**, *NDT and RBI in function of pressure equipment integrity loss*, 11th International Conference on accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology 2013, Banja Luka, pp.1153-1158
- Alekxic V., **Bulatovic S.**, Milovic Lj., *NDT in function prevention of loss integrity of structures large dimensions*, 5thJubilee Balkanmine congress & comercial exhibition 2013, Ohrid, Macedonia, pp. 112-118
- Milovic Lj., **Bulatovic S.**, Alekxic V., Radakovic Z., Markovic S., Sedmak S., *Assessment of the behaviour of fatigue loaded HSLA steel welded joint by applying fracture mechanics parameters*, New trends in fatigue and fracture (NT2F) 2012 Brasov, Romania, pp. 101-109

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „**Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора**“ кандидата **Срђана Булатовића**, дипл. инж. маш., Комисија за оцену и одбрану констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, констатује се да је кандидат Срђан Булатовић, дипл. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је дошао до оригиналних резултата који су и верификовани, што им обезбеђује велику применљивост у овој области.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области машинства, ужа научна област Машински материјали-заваривање материјала, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату Срђану Булатовићу, дипл. маш. инж. одобри одбрану докторске дисертације под називом „**Еласто-пластично понашање завареног споја од нисколегираног челика повишене чврстоће у условима нискоцикличног замора**“, када се за то стекну законски услови, пред комисијом у истом саставу.

Београд, 15. 09. 2014. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Александар Седмак, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Доц. др Љубица Миловић, коментор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки
факултет

Проф. др Радица Прокић-Цветковић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Зоран Радаковић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Зијаж Бурзић,
Научни саветник, Војно-технички Институт у
Београду

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:1635/5
Датум: 18.09.2014. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 63. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду број 1876/1 од 04.10.2013. године и члана 37. Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће на седници одржаној 18.09.2014. године, донело је

О Д Л У К У

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео **СРЂАН БУЛАТОВИЋ**, дипл.инж.маш. и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „**ЕЛАСТО-ПЛАСТИЧНО ПОНАШАЊЕ ЗАВАРЕНОГ СПОЈА ОД НИСКОЛЕГИРАНОГ ЧЕЛИКА ПОВИШЕНЕ ЧВРСТОЋЕ У УСЛОВИМА НИСКОЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА**“

II Универзитет је дана 20.01.2014. године, својим актом број 61206-29/2-14 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. **Bulatović S.**, Milović Lj., Sedmak A, Samardžić I., *Identification of low cycle fatigue parameters of high strength low-alloy (HSLA) steel at room temperature*, Journal for Theory and Practice in Metallurgy-Metalurgija, Vol. 53, No. 4, pp. 466-468, 2014 (**IF=0,755**) (ISSN: 0543-5846)
2. **Bulatović S.**, Burzić Z., Aleksić V., Sedmak A., Milović Lj., *Impact of choice of stabilized hysteresis loop on the end result of investigation of high-strength low-alloy steel on low cycle fatigue*, Journal for Theory and Practice in Metallurgy-Metalurgija, Vol. 53, No. 4, pp. 477-480, 2014 (**IF=0,755**) (ISSN: 0543-5846)

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за технологију материјала и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић