

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2216/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)26.12.2019.
(Датум)**З А Х Т Е В**
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF CORROSION CRACK GROWTH IN MILD STRUCTURAL STEEL (ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И НУМЕРИЧКО ИСПИТИВАЊЕ РАСТА ПРСЛИНЕ У УСЛОВИМА НАПОНСКЕ КОРОЗИЈЕ КОНСТРУКЦИОНИХ ЧЕЛИКА)

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ технологија материјала

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: MOHAMED ALKATEB2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Факултет техничких наука
Sabratha, Либија3. Година дипломирања: 1993. (BSc), 2008. (MSc.), Факултет техничких наука Sabratha, Либија

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____ / _____

Година уписа докторских студија: 2015Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 26.12.2019.
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАПроф.др Радивоје Митровић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 2216/4
Датум: 26.12.2019. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Mohamed Alkateb**, дипл.инг., бр. 2216/1 од 25.11.2019. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Александар Седмак, ред. проф., др Милош Ђукић, ванр. проф., др Гордана Бакић, ванр. проф., др Срђан Тадић, научни сарадник, ИЦ МФ Београд и др Ивана Васовић, научни сарадник, Лола Институт, Београд, број 2216/3 од 20.12.2019. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета (број 1450/1 од 14.06.2018. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 26.12.2019. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **MOHAMED ALKATEB**, дипл. инг. испуњава услове за израду докторске дисертације **«EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF CORROSION CRACK GROWTH IN MILD STRUCTURAL STEEL (ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И НУМЕРИЧКО ИСПИТИВАЊЕ РАСТА ПРСЛИНЕ У УСЛОВИМА НАПОНСКЕ КОРОЗИЈЕ КОНСТРУКЦИОНИХ ЧЕЛИКА)»**.

За ментора студенту **MOHAMED ALKATEB**, именује се др **Александар Седмак, ред.проф.**

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Mohamed Alkateb-a, дипл. инг., за израду докторске дисертације

На основу Одлуке Наставно-научног већа број 2216/2 од 12.12.2019. године, мишљења Комисије за Докторске студије и Координатора студија на страном језику, и сагласности чланова Катедре за технологију материјала, а по пријави теме докторске дисертације кандидата Мохамед Алкатеб-а, студента докторских студија, именовани смо за чланове Комисије за оцену испуњености кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације. После проучавања достављеног материјала подносимо следећи

РЕФЕРАТ

о подобности теме и кандидата **Мохамед Алкатеб-а**, дипл. инг. за израду докторске дисертације са насловом

Experimental and numerical investigation of corrosion crack growth in mild structural steel

Експериментално и нумеричко испитивање раста прслине у условима напонске корозије конструкционих челика

1. Подаци о кандидату

Општи биографски подаци

Мохамед Алкатеб рођен је 10.8.1967 у месту Сабратха у Либији. Ожењен је и држављанин је Либије.

Образовање

Основну и средњу школу је завршио у месту Сабратха, 1988-2000, у Либији. Дипломирао је 1993. године на Факултету Техничких Наука Сабратха, Либија. Мастер студије завршио је 2008. на Факултету Техничких Наука, Либија

Радио као машински инжењер у Бродоградилишту, Триполи, Либија, 2005-2008. Од 2012. Шеф одељења за материјале у Бродоградилишту, Триполи.

Активности на докторским студијама

У циљу реализације програма усавршавања **Мохамед Алкатеб**, дипл.инг. је положио следеће обавезне и изборне предмете:

	Предмет	Професор	Оцена
1	Advanced Computer Design	др Александар Грбовић	9
2	Planning, Performing and Controlling Projects	др Бојан Бабић	10
3	Stress and Strain Measurement	др Милорад Милованчевић	10
4	Basic Principles of Fracture Mechanics	др Александар Седмак	10
5	FEM in Applications	др Александар Грбовић	10
6	Structural Integrity and Life	др Зоран Радаковић	10
7	Applications of Structural Mechanics	др Александар Седмак	9
8	Laboratory I	др Бојан Бабић	10
9	Laboratory II	др Бојан Бабић	10
10	Laboratory III	др Бојан Бабић	10
11	Advanced Fracture Mechanics	др Александар Седмак	10
12	Fatigue and Life Estimation	др Зоран Радаковић	10
13	Laboratory IV	др Зоран Радаковић	10
14	D.Sc. Project	др Александар Седмак	10

Кандидат је уписао докторске студије школске 2015/16. године. На докторским студијама кандидат је положио 14 (четрнаест) предмета са просечном оценом 9,85 (девет целих и осамдесет пет стотих).

1.1. Списак објављених радова и других резултата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на предложеној теми

1. S. Tadić, A. Sedmak, M. Alkateb, S. Petronić, Analysis of Stress Corrosion Crack Propagation, представљено на TIMA conference, Timisoara 2019
2. Srdjan Tadic, Mohamed Alkateb, Aleksandar Sedmak, Mechanical aspects of stress corrosion cracking, Modelling in Mechanics, Int. Conference, Ostrava, 2018
3. Mohamed Alkateb, Aleksandar Sedmak, Srdjan Tadic, Numerical simulation of corrosion crack growth in mild structural steel, прихваћено за објављивање у часопису Интегритет и Век Конструкција, 2020

1.2. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат је својим досадашњим истраживачким активностима испољио квалитет, заинтересованост и стручност за научни и истраживачки рад. Публиковани /изложени радови у стручним асописима указује на смисао кандидата да се бави теоријским, нумеричким и експерименталним истраживањима. На основу биографских података кандидата, положених испита на докторским студијама, његових научних и стручних активности, као и објављеног рада, Комисија сматра да је кандидат подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Стварање и раст прслине у металним материјалима може под одређеним условима настати комбинованим, синергијским деловањем корозије и напрезања. Овај феномен се у домаћој литератури наводи као *напонска корозија*, што

представља поједностаљен превод англо-саксонског стручног термина *Stress Corrosion Cracking*. У овој дисертацији испитиваће се карактеристике и механизми напонске корозије, као и могућности за њено спречавање.

Ломови настали под утицајем напонске корозије спадају у категорију тзв. кртих или квази-кртих ломова који се одвијају брзо, без најаве и без видљивог разлога. У историјском смислу, феномен је први пут уочен код Енглеских војника у Индији, на месинганим чаурама пушчане муниције током монсунског преиода - *seasonal cracking*. Међутим, тек је у другој половини двадесетог века постао предмет научног истраживања, а данас обухвата велики број научних дисциплина - од (електро)хемије и металургије до механике напонског стања и механике лома.

Напонска корозија представља процес 'одложеног лома' тј. започиње стварањем и растом прслине веома малом брзином - типичне вредности су 10^{-9} - 10^{-6} m/sec, све док напрезање у лигаментима материјала не достигне вредности преломне чврстоће. Лом се одвија у три фазе, (i) иницијација прслине под дејством неког кртичног, обично веома малог напрезања K_{iscc} , (ii) спори раст прслине која се може одвијати интер, или транскристално, (iii) брзи, неочекивани раст прслине и коначни лом матријала када се достигне критична вредност интензитета напрезања, K_{IC} . Ови стадијуми напонске корозије биће детаљно испитивани у дисертацији.

Теоријски механизми напонске корозије могу се поделити у две главне групе - анодна и катодна напонска корозија. У првој групи - напонска корозија одвија се анодном корозијом и разлагањем метала. У другој групи, катодним механизмом, одвија се абсорбција водоника што изазива тзв. водоничну кртост материјала. Репрезентативни пример анодне напонске корозије су нерђајући челици док су у другом случају челици високе чврстоће. Међутим, анодна и катодна корозија одвијају се симултано, истовремено у материјалу. Доминантни механизам напонске корозије одређује кинетика анодне и катодне реакције. Због тога су испитивања напонске корозије условаљена, између осталог, и временом тј., брзином реакције.

У овој дисертацији изучаваће се механички аспекти и кинетика анодног механизма напонске корозије. У стручној литератури постоје два основна модела анодне напонске корозије - 'slip-step dissolution' који се заснива на дислокационом механизму пластичне деформације на врху прслине и, 'film rupture model' који се заснива на интеракцији материјала са оксидним слојем на површини. У овом случају, оксидни филм на површини има заштитну улогу основног материјала. Под дејством примењеног напрезања, у оксидном филму јављају се прслине кој остављају основни материјал незаштићен и подложен корозији. Истовремено, одвија је регенерација оксидног филма, тзв. репасивизација. На тај начин, напонска корозија одвија се секвенцијално, понављањем раста прслине и репасивизације. Брзину напонске корозије одређују кинетички параметри ова два, међусобно независна, феномена. Математички израз за брзину напонске корозије (da/dt) дат је једначином

$$\frac{da}{dt} = \frac{M}{z \rho F} \frac{Q_f}{E_f} \frac{d\varepsilon}{dt} = \alpha K_{ef}^\beta$$

где је M - молекулска маса материјала, z -валенца, ρ -густина, F - Фарадејева константа а Q_f - густина струје у области прелома оксидног слоја. На десној страни једначине, K_{ef} је ефективни фактор интензитета напрезања а α и β коефицијенти кјоји описују интеракцију материјала са околином. Физички смисао приказане једначине је да повезује електро-хемијске феномене напонске корозије (преко Фарадејевог закона) и, с друге стране, механицистичке феномене (преко интензитета примењног напрезања). Ефективни фактор интензитета напрезања дат је једначином која описује врсту примењног напрезања:

$$K_{eq} = \frac{K_I}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{K_I^2 + 4(1.155 K_{II}^2) + 4 K_{III}^2}$$

док се, према другим ауторима, ефективни интензитет напрзања састоји од два независна фактора - примењеног напрезања и прслине у оксидном филму.

$$K_{ef} = K_{(app)} + K_{(cpf)}$$

Нумеричка испитивања извршиће се применом Методе коначних елемената (X-FEM), у open-source програму Code -Aster. Испитиваће се дво- и три-димензионални модели напонског стања на врху прслине изазване преломом оксидног слоја на површини метала. Дебљина овог слоја биће у опсегу 1-10 μ m. Биће примењени еласто- пластични принципи механике лома (EPFM) а напонске карактеристике материјла биће описане Рамберг-Осгудовом једначином.

2.1.Полазне хипотезе

На основу прегледа литературе и сопственог искуства:

- Напонска корозија је од великог значаја у обезбеђењу интегритета конструкције и има велику улогу у хаваријама металних конструкција.
- Експериментално истраживање може добро да симулира реалне ломове у току експлоатације.
- Нумеричке методе могу да симулирају експеримент, односно брзину раста прслине условима напонске корозије.
- Само комбинација горе наведених експерименталних и нумеричких истраживања може да пружи комплетну слику понашања материјала у условима напонске корозије.

2.2.Преглед литературе релевантне за предложену тему дисертације

Референце наведене у тачки 1.1. описују основе предложене дисертација, са почетним резултатима који опредељују даљи рад кандидата на предложеној теми. У

родовима под 1 и 2 је дата анализа раста прслине услед напонске корозија на основу аналитичких разматрања, док је у раду 3 дата нумеричка анализа тог феномена.

Сада се наводи неколико референци у којима је такође обрађена тема ове дисертације:

- [1] ASM: American Society of Metals. "Stress-corrosion cracking", In.: ASM Metals Handbook of Corrosion. Materials Park, OH: 2002 ASM International, V. 13 p. 828-860.
- [2] C.A.Loto, Stress Corrosion Cracking, Int. J. Adv. Technology, (2017), 93. p.3567
- [3] Y. Shintaku, F. Iwamatsu, K. Suga, M. Kikuchi, Simulation of Stress Corrosion Cracking in Housing of Nuclear Power Plant, J. of Pressure Vessel Technology, (2015), vol.137, august, p. 041410-13.
- [4] Wenwen Wang, Zhiliang Zhang, Xuechong Ren, Yongjun Guan, Yanjing Su, Corrosion Product Film-Induced Stress Facilitates Stress Corrosion Cracking, Sci. Rep. 5, 10579; doi: 10.1038/srep10579 (2015).

У реф. 1 су дефинисане и описане основе феномена који се анализира у овој дисертацији – напонска корозија. У реф. 2-4, осим општег приступа, уведена је и симулација напоснке корозије у неким конкретним случајевима, са освртом на стварање и брзину раста прслине и утицајем геометријских параметара. Разматрани су статички услови оптерећења, док се у овој дисертацији очекује додатна анализа промелживог оптерећења, односно примена проширене методе коначних елемената (xFEM) на симулацију заморног раста прслине. Осим тога, у доступној литератури недостаје детаљнији опис и дефинисање механизма стварања и брзине раста прслине, као и прецизније одређивање утицаја концентрације напона.

3. Научне методе истраживања

За потребе овог истраживања предлажу се следећи приступи и методологије:

- Експериментално истраживање прслина у нерђајућим челицима како би се утврдила брзина раста прслине као својство материјала.
- Нумеричко моделирање и симулација заморног раста прслине применом проширене методе коначних елемената (XFEM).
- Верификација и валидација нумеричких резултата поређењем са експерименталним подацима.
- Анализа података и оптимизација модела на основу претходно добијених резултата.

План истраживања и структура рада

Дисертација је организована на следећи начин: *Поглавље 1* је уводно, са образложењем значаја теме и прегледом литературе. *Поглавље 2* ће се надовезати на концепте механике лома, стварања и раста прслине у условима напонске корозије.

Поглавље 3 ће се бавити нумеричком симулацијом, односно применом проширене методе коначних елемената. У *Поглављу 4* ће добијени нумерички резултати бити упоређени са експерименталним резултатима уз одговарајућу дискусију. На крају, *Поглавље 5* се завршава научним доприносом кандидата и дискусијим.

4. Научни допринос

Очекује се следећи основни научни допринос:

- Утврђивање механизма стварања и брзине раста прслине у условима напонске корозије у зависности од врсте и величине примењеног напрезања.
- Одређивање утицаја геометријских параметара металне конструкције и примењеног напрезања на раст прслине у условима напонске корозије.
- Симулација раста заморне прслине и анализа лома у условима напонске корозије применом проширене методе коначних елемената (xFEM).

Закључак и предлог

Анализом пријаве кандидата, Mohamed Alkateb-а, Комисија закључује да је предложена тема подобна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све услове за рад на докторској дисертацији. Комисија зато предлаже Наставно-научном већу да кандидату одобри израду докторске дисертације са насловом “Experimental and numerical investigation of corrosion crack growth in mild structural steel” (“Експериментално и нумеричко испитивање раста прслине у условима напонске корозије конструкционих челика”), у научној области „Механика лома – Наука о материјалима“ за коју је Универзитет у Београду – Машински факултет матичан, а за ментора се предлаже проф. др Александар Седмак.

У Београду, 19.12.2019. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Александар Седмак

Др Милош Ђукић, в.проф.

Др Гордана Бакић, в.проф.

Др Срђан Тадић, научни сарадник,
Иновациони центар Машинског факултета, Београд

Др Ивана Васовић, научни сарадник,
Лола Институт, Београд

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: др Александар Седмак

Звање: редовни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI)
листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Sghayer Abulgasem, Grbovic Aleksandar, **Sedmak Aleksandar**, Dinulovic Mirko, Grozdanovic Ines, Sedmak Simon, Petrovski Blagoj, *Experimental and Numerical Analysis of Fatigue Crack Growth in Integral Skin-Stringer Panels*, TECHNICAL GAZETTE, 2018, vol. 25 br. 3, str. 785-791
2. Colic Katarina, **Sedmak Aleksandar**, Legweel Kaled, Milosevic Milos, Mitrovic Nenad, Miskovic Zarko, Hloch Sergej, *Experimental and Numerical Research of Mechanical Behaviour of Titanium Alloy Hip Implant*, TECHNICAL GAZETTE, 2017, vol 24. br. 3, str. 709-713
3. Tatic Uros, Colic Katarina, **Sedmak Aleksandar**, Miskovic Zarko, Petrovic Ana, *Evaluation of the Locking Compression Plates Stress-Strain Fields*, TECHNICAL GAZETTE, 2018, vol 25. br. 1, str. 112-117
4. Jovicic Gordana, Zivkovic Miroslav, Jovicic Nebojsa, Milovanovic Dobrica, **Sedmak Aleksandar**, *Improvement of algorithm for numerical crack modelling*, ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING, 2010, vol. 10 br.3, str. 19-35
5. Djurdjevic Andrijana, Zivojinovic Danijela, Grbovic Aleksandar, **Sedmak Aleksandar**, Rakin Marko, Dascau Horia, Kirin Snezana, *Numerical simulation of fatigue crack propagation in friction stir welded joint made of Al 2024-T351 alloy*, ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, 2015, vol. 58, str. 477-484

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
