

**ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Абубакра М.А. Кредега**,  
дипл. инж.маш.

Одлуком 2761/2 од 9.11.2017 године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата кандидата **Абубакра М.А. Кредега**, дипл. инж.маш. под насловом

**(Fatigue crack growth in T welded joints of aluminum alloy)  
Раст заморне прслине у Т завареном споју легуре алуминијума.**

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 Абубакар М.А. Кредег, дипл. инж. маш, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2013/2014. године. Кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 794/1 од 30.3.2016. године на Катедри за Технологију материјала Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Александра Седмака, редовног професора Машинског факултета у Београду.

На основу сагласности Катедре Технологију материјала 794/2 од 30.5.2016. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 1.6.2016. године Одлуку број 794/3 о именовану Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Александар Седмак, редовни професор (ментор), Машински факултет у Београду
- др Зоран Радаковић, редовни професор, Машински факултет у Београду.
- др Александар Грбовић, ванр. професор, Машински факултет у Београду
- др Зијаж Бурзић, научни саветник, ВТУ Жарково
- др Срђан Тадић, научни сарадник

Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације је 30.3.2017. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду Извештај број 794/1, у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под насловом „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“, 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 794/2 од 30.5.2017. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“ кандидата Абубакра М.А. Кредега, дипл. инж. маш.–мастер инжењер машинства, и за ментора је именован др Александар Седмак, редовни

професор Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 794/3 од 1.6.2017. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Абубакра М.А. Кредега, дипл. инж. маш.– мастер инжењер машинства, под насловом: „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“.

На основу обавештења проф. др Александра Седмака да је кандидат Абубакар М.А. Кредег, дипл. инж. маш.– мастер инжењер машинства, завршио докторску дисертацију под насловом: „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“ и предлога Катедре за Технологију материјала број 2761/1 од 30.10.2017. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 9.11.2017. донело Одлуку број 2761/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Александар Седмак, редовни професор (ментор), Машински факултет у Београду
- др Зоран Радаковић, редовни професор, Машински факултет у Београду.
- др Александар Грбовић, ванр. професор, Машински факултет у Београду
- др Зијаж Бурзић, научни саветник, ВТУ Жарково
- др Срђан Тадић, научни сарадник

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“ припада области техничких наука - машинству, ужој научној области **Технологија материјала**, Механика лома, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Лични подаци:-

Име: - Абубакар М.А. Кредег  
Место и датум рођења: - 08.04.1983 Сабрата-Либија  
Брачни статус: - Ожењен (троје деце)  
Мобилни телефон 00381-61-1437250  
Е-mail адреса: - akredegh@yahoo.com

### **Образовање:**

1988 - 1997	Основна школа
1997 – 2000	Средња школа
2000 - 2004	Факултет Техничких Наука – Сабрата - Либија
2009 - 2012	Мастер студије на смеру за Напредну Технологију Производње, Swinburne university, Australia

### **Радно искуство:-**

2005-2008	Машински инжењер у General Electricity Company of Libya
2012–	Шеф Одељења за Мрежу за Транспорт Енегије у General Electricity Company of Libya

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Абубакра Кредега, дипл. инж. маш. – мастер инжењер машинства, под насловом „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈ У ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“ језику, садржи: 139 страна формата А4, 83 слике, 11 табела, 73 једначина и списак коришћене литературе који садржи 82 референце.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Заваривање мешањем трењем: Моделирање процеса и микроструктура
4. Концепти механике лома
5. Проширена метода коначних елемената (ПМКЕ) – Нумеричка симулација
6. Експериментална верификација нумеричких резултата за Т спојеве заварене мешањем трењем

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: Представљање значаја заварених плоча**

Потреба за конструисањем нових комерцијалних ваздухоплова који би заменили постојеће који су при крају свог радног века, како би се увећала флота која је предвиђена да расте током наредних 20 година је натерала Међународну Ваздухопловну Заједницу да се позабави могућношћу добијања ефикаснијих конструкција у погледу цене и/или смањења тежине, уз исте или побољшане нивое безбедности. Увођењем нових ваздухопловних конструкција, уштеде на цени и тежини постају интегрални део дизајна.

### **Поглавље 2: Престављање и преглед литературе о алуминијумских легурама и њиховим особинама у различитим завареним плочама**

Заморне особине играју битну улогу у механичкој структури. Значај оваквих особина постаје још критичнији у случају транспортних возила, платформи, ваздухопловних конструкција и мостова. Критични утицај таквих особина их чини битним за проучавање у инжењерским оквирима. Техника заваривања мешањем трењем покрива широк распон инжењерских примена. Обим истраживања везаног за испитивање особина заварених алуминијумских ваздухопловних конструкција се временом увећао. Истраживачи су посветили време процени заморног понашања ФСВ заварених спојева и проучавању заморног раста прслине.

### **Поглавље 3: Ово поглавље се бави научним основама FSW, укључујући генерисање топлоте током заваривања алуминијумских легура [AA2024], различите зоне завареног споја, предности и недостатке FSW спојева од [AA2024].**

Широка примена заваривања при спајању делова ваздухопловних конструкција је дуго била ограничена тешкоћама везаним за производњу заварених спојева отпорних на замор и лом од алуминијумских легура, попут изразито легираних 2XXX и 7XXX серија. За ове врсте алуминијумских легура се углавном сматра да су незаварљиве услед ограничене порозности и микро-структура које се јављају током очвршћавања у зони стапања.

FSW се може посматрати као значајан допринос развоју метода за спајање метала у последњих десет година. Поред тога, спаде у зелене технологије услед своје свестраности, енергетске ефикасности и безбедности по околину. У поређењу са уобичајеним поступцима заваривања, FSW такође троши много мање енергије.

### **Поглавље 4: У овом поглављу је дат детаљан опис концепта механике лома, раста заморне прслине и заморног века ваздухопловних конструкција.**

Такође је дат и кратак преглед принципа механике лома и микро-механичких модела који се користе при процени интегритета конструкција.

Знања о техничким механизмима који повезују катастрофе и безбедност конструкција се назива интегритет конструкција. При изради нових конструкција, као и при обнови и одржавању постојећих, је неопходно прорачунати интегритет и преостали век (бродова,

летелица, посуда под притиском, пруга, цевовода...), како би се осигурала заштита средине, јавна безбедност и економичност.

### **Поглавље 5: Ово поглавље се бави нумеричком симулацијом, тј. применом ПМКЕ преко софтверских пакета ABAQUS и Morfeo.**

Анализирани су следећи примери:

- Пример 1 Моделирање коначним елементима сучеоних заварених спојева изложених статичком савијању у три тачке
- Пример 2 Моделирање коначним елементима Т завареног споја изложеног статичком савијању у три тачке
- Утицај укрућења на напредовање заморне прслине у завареним плочама
- Пример 1 Моделирање коначним елементима сучеоног завареног споја под статичким затезним оптерећењем
- Пример 2 Моделирање коначним елементима Т завареног споја под статичким затезним оптерећењем
- Пример 3 Моделирање коначним елементима дуплог Т завареног споја под статичким затезним оптерећењем
- Утицај односа напона на напредовање заморне прслине у дуплом Т споју плоче под статичким затезним оптерећењем
- Пример 1 Однос напона 0.5
- Пример 2 Однос напона 0
- Пример 3 Однос напона -1

### **Поглавље 6: У овом поглављу су приказани добијени нумерички резултати који су упоређени са експерименталним резултатима за Т спој, уз одговарајућу дискусију.**

У циљу потврђивања претходно представљених закључака извучених на основу 3Д МКЕ симулација у ABAQUS-у, одлучено је да се организује експериментално испитивање механичких и металуршких особина Т спојева заварених мешањем трењем, од сличних међусобно алуминијумских легура. FSW процес је детаљно представљен и објашњена је његова примена на укрућене конструкције од алуминијумских легура.

### **Поглавље 7: Ово поглавље обухвата допринос кандидата истраживању**

Истраживање извршено у оквиру ове докторске дисертације има за циљ да реши проблеме везане за процену интегритета конструкција заварених Т спојевима од алуминијумских легура, као и за феномен раста заморне прслине. Рад на овом истраживању је анализиран у следећим примерима, на основу којих су изведени одговарајући закључци:

Први случај је обухватао симулацију сучеоних и Т заварених спојева изложених савијању у три тачке са ивичном прслином, код којих се јасно видео утицај укрућења на радни век.

Други случај је био везан за затезно оптерећење три различите заварене плоче (сучеони спој, Т спој и дупли Т спој), код којих је прслина убачена у ЗТМУ (Зони термомеханичког утицаја). Посматран је утицај једног и два укрућења. Случајеви са различитим односом напона (0.5 и -1) су такође узети у обзир, и дали су различите резултате.

Трећи случај се односи на плочу са Т завареним спојем изложену савијању у три тачке са ивичном прслином, код које су упоређени експериментални и нумерички резултати. Заморни век оптерећене епрувете је указао на добро слагање ових резултата, као и на конзервативну природу резултата нумеричке симулације, али само до 8.5 мм. Нумерички резултати су указали на значајно опадање брзине раста прслине након што је врх прслине дошао до укрућења и резултујућег успореног раста прслине кроз укрућење.

Испитивањем великог броја различитих 3Д модела је утврђено да укрућења моделираних плоча имају значајан утицај на расподелу фактора интензитета напона у околини врха прслине, односно на њен раст. Начин на који су дефинисани гранични услови (везе са

остатком конструкције или склопа), као и метода задавања оптерећења такође имају велики утицај на добијање квалитетних решења применом нумерике. Поред тога, дефинисање врсте и величине елемената мреже у 3Д моделу плоче је од великог значаја за прецизност резултата. Стога, мрежа у околини врха прслине мора бити састављена од мањих (финијих) елемената, као и у области очекиваног раста прслине.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања у области понашања алуминијумских легура у ваздухопловству веома значајна и актуелна. Кандидат даје јасну идентификацију и анализу основних проблема који доводе до отказа ваздухопловних конструкција услед замора што представља значајан проблем у авио индустрији. Докторска дисертација под називом „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“ представља савремен и оригиналан допринос разматраној проблематици лома услед постојања грешака типа прслина у материјалу. У оквиру докторске дисертације примењени су савремени истраживачки поступци и лабораторијска мерења уз коришћење најновијих софтверских решења за нумеричке симулације.

У складу са модерним истраживачким трендовима, кандидат у дисертацији примењује најсавременије методе експерименталне и нумеричке анализе алуминијумских легура проширеном методом коначних елемената. У оквиру дисертације приказани су и поступци заваривања мешањем трећем легуре алуминијума АА2024.

При изради нумеричких модела примењени су најсавременији софтверски пакети, што такође представља свакако савремен и оригиналан приступ у истраживању проблема из области механике лома.

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 понашања металних материјала, нумеричке метода и симулације, али и експерименталне методе испитивања раста заморних прслина у А1 легурама, завареним FSW поступком. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирње прегледа постојећих истраживања везаних за област отказа услед зармонг лома ваздухопловних конструкција и њихових делова, као и за припрему експерименталних 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, више од сто је млађе од десет година, а већина тих радова је из водећих међународних часописа.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У докторској дисертацији је, у циљу истраживања проблема услед заморног лома ваздухопловних конструкција, коришћен већи број савремених научно-истраживачких метода, које су примењиване сходно типу проблема који је решаван. Услед комплексности анализе проблема у реалним условима заморног оптерећења Т спојева од АА2024 легуре, кандидат је у истраживању користио и нумерички и експериментални приступ истраживања.

Сваки отказ заварених ваздухопловних конструкција доводи до катастрофалних последица.. У оквиру дисертације примењен је савремени приступ дијагностике понашања који пред-

ставља спрегу нумеричког прорачуна и експерименталних истраживања, а који се примењују симултано.

У изради докторске дисертације примењене су и експерименталне и нумеричке методе. Израђени су репрезентативни узорци од једне од најчешће примњиваних легура у овој области, АА2024.. Метода коначних елемената у савременој науци има све већу примену и користи се за испитивања и прорачуне различитих машинских конструкција. Проширена метода коначних елемената се у последње време често примењује при прорачуну понашања конструкција изложених заморном оптерећењу. 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 и радног века ваздухопловних конструкција и њихових делова у присуству заморних прслина, са завареним спојевима од алуминијумских легура.

Остварени експериментални резултати омогућавају одређивање утицаја замора и различитих геометрија које се могу наћи у клиничкој пракси на напонско стање, интегритет и радни век ваздухопловних конструкција заварених FSW поступком. 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, које је могуће добијених нумеричким прорачуном. Формирани су верификовани нумерички модели погодних за испитивање различитих геометријских модела плоча завареним T спојевима од алуминијумских легура. Резултати нумеричких симулација геометрије заварених T спојева од алуминијума верификовани су поређењем са експерименталним резултатима.

#### 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 апстрактне научне проблеме. Поседује изузетено 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. Анализом постављених претпоставки и експерименталних резултата приказаних у тези, кандидат је показао да је у стању да самостално решава научне проблеме, као и да успешно влада научним и истраживачким методама.

### **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

#### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси кандидата Абубакра М.А. Кредега, дипл. инж. маш.– мастер инжењер машинства, у оквиру докторске дисертације под насловом „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У T ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“, огледају се у следећем:

- Детаљно сакупљена, проучена и систематизована научна литература из области везана за све аспекте ове дисертације. Приказани су постојећи поступци заваривања баздухопловних конструкција од алуминијума, уз осврт на њихово понашање при заморном лому.

- Приказана је процедура израде експерименталних узорака са акцентом на симулацију FSW завареног споја са заморном прслином. Дефинисана је процедура за експериментално мерење напонског стања у алуминијумским плочама у лабораториским условим.
- Дефинисана је процедура евалуације нумеричких и експерименталних параметра чиме је омогућена примена комплексних симулација реалних услова оптерећења.
- Дефинисани су утицаји раста заморне прслине на концентрације напона у критичним зонама, као и понашање у реалним условима оптерећења у току радног века конструкције, уз присуство хоризонталних укрућења. Утврђено је примена ових укрућења доводи до смањења фактора интензитета напона и брзине раста заморне прслине, чиме је радни век оваквих конструкција приметно продужен.

#### 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 поседују велику примењивост у области разматране теорије.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос кандидата Абубакара М.Г. Кредега дипл. инж. маш.- мастер инжењер машинства верификовани су следећим радовима:

##### Категорија М21:

3. A. Kraedegh, A. Sedmak, A. Grbovic, S. Sedmak. "Stringer effect on fatigue crack propagation in A2024-T351 aluminum alloy welded joint." International Journal of Fatigue 105 (2017): 276-282.

##### Категорија М24:

2. A. Kraedegh, W. Li, A. Sedmak, A. Grbović, N. Trišović, R. Mitrović, S. Kirin: Simulation of Fatigue Crack Growth in A2024-T351 T Welded Joint, časopis Integritet i Vek Konstrukcija, 1 (2017), p. 3-6

##### Категорија М33:

3. A. Kraedegh, A. Sedmak, A. Grbović, N. Milošević, D. Daničić, Numerical Simulation of fatigue crack growth in FSW T joint made of Al 2024 T351 alloy, ECF21 June 2016, Catania, Procedia Structural Integrity 2 (2016) 3065-3072

## **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 „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“ кандидата Абубакра М.А. Кредега дипл. инж. маш.- мастер инжењер машинства 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 Абубакр М.А. Кредег, дипл. инж. маш.-

мастер, успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација под називом „РАСТ ЗАМОРНЕ ПРСЛИНЕ У Т ЗАВАРЕНОМ СПОЈЕВИМА ОД АЛУМИНИЈУМСКЕ ЛЕГУРЕ“ представља оригиналан и вредан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област Технологија материјала, Механика лома. Кандидат је дошао до оригиналних научних резултата који су успешно верификовани.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути Реферат на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат Абубакар М.А: Кредег, дипл. инж. маш. - мастер инжењер машинства, позове на јавну одбрану.

У Београду, \_\_\_\_\_ . год

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
Проф. др Александар Седмак, редовни професор (ментор),  
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....  
др Зијах Бурзић, научни саветник,  
Војно-технички Институт, Жарково, Београд

.....  
др Александар Грбовић, ванр. професор,  
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....  
др Срђан Тадић, научни сарадник,  
Иновациони Центар Машинског Факултета

.....  
Др . Зоран Радаковић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Машински факултет