

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Машински факултет

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш.

Одлуком 25/2 од 18.01.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш. под насловом

ФАКТОРИ ИНТЕНЗИТЕТА НАПОНА ВИШЕСТРУКИХ ПРСЛИНА НА ДУРАЛУМИНИЈУМСКИМ ПАНЕЛИМА

(Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels)

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Мустафа Мохамед Али Алдарвиш (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш. је на Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписан школске 2013/2014. године. После положених испита и других стечених услова, кандидат је поднео захтев бр. 489/1 од 28.02.2017. за одобравање израде докторске дисертације под насловом „Фактори интензитета напона вишеструких прслина на дуралуминијумским панелима“ (*Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels*). Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку број 489/2 од 18.05.2017. године којом именује Комисију за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу проф. др Александар Грбовић, проф. др Александар Седмак, проф. др

Данило Петрашиновић, проф. др Драган Милковић и проф. др Гордана Кастратовић (Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду) са задатком да оцени подобност теме и кандидата за израду докторске дисертације. Комисија је поднела позитиван Извештај бр. 489/3 од 18.09.2017. Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду је Одлуком бр. 489/4 од 21.09.2017. прихватило предлог Комисије о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације „Фактори интензитета напона вишеструких прелина на дуралуминијумским панелима“ (*Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels*). Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је својом одлуком бр. 61206-3933/2-17 од 30.10.2017. дало сагласност на предлог теме докторске дисертације, а за ментора именовало проф. др Александра Грбовића.

На предлог ментора проф. др Александра Грбовића и Комисије за докторске студије Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду, Одлуком бр. 25/2 од 18.01.2018, именовало је Комисију за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу проф. др Александар Грбовић, проф. др Александар Седмак, проф. др Данило Петрашиновић, проф. др Драган Милковић и проф. др Гордана Кастратовић (Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду) са задатком да поднесе Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш., под насловом „Фактори интензитета напона вишеструких прелина на дуралуминијумским панелима“ (*Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels*) припада области техничких наука – машинство, ужа научна област ваздухопловство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Израдом докторске дисертације руководио је др Александар Грбовић, ванредни професор групе ваздухопловних предмета на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду, аутор преко десет научних радова објављених у часописима са SCI листе, а из научне области којој припада и ова дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Мустафа Мохамед Али Алдарвиш (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish) рођен је 16.08.1970. у Мисурати, у Либији, где је завршио основну и средњу школу.

Школске 1989/1990 уписао је, а 1995. године завршио студије на Технолошко-техничком факултету у граду Брак, у Либији (Faculty of Engineering and Technology, Brack,

Libya). Мастер студије упиује 2004. на Табин институту за металуршке студије у Египту (Tabbin Institute For Metallurgical Studies - TIMS) које успешно завршава 2008. године.

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписује школске 2013/2014. године где полаже све испите предвиђене Планом усавршавања. На основу научно-истраживачког рада током докторских студија објављује 2 рада: рад у међународном часопису (категорија M23) и рад у часопису међународног значаја верификованим посебном одлуком (M24).

Мустафа Мохамед Али Алдарвиш поседује вишегодишње радно искуство. У периоду од 1998. године до 2004. године био је запослен као машински инжењер у компанији Industrial Housing Board, Мисурата – Либија. Након завршених мастер студија, од 2009. запослен је као предавач на одсеку за материјале на Техничком факултетз Мисурата Универзитета, у Либији (Engineering Faculty, Misurata University, Misurata, Libya), где и данас ради.

1. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш., под насловом „Фактори интензитета напона вишеструких прлина на дуралуминијумским панелима“ (*Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels*) написана је на енглеском језику. Докторска дисертација има 303 стране формата А4, 398 слика, 42 табеле, 134 нумерисана израза и списак литературе на 8 страна.

Дисертација се састоји од следећих поглавља:

1. Увод. Проблематика вишеструких прлина.
2. Преглед литературе и теоријске основе.
3. Анализа прлина применом нумеричких метода.
4. Фактори интензитета напона вишеструких прлина на равном дуралуминијумском панелу.
5. Фактори интензитета напона вишеструких прлина на закривљеним дуралуминијумским панелима.
6. Анализа утицаја радијуса заобљења панела на вредности фактора интензитета напона.
7. Процена фактора интензитета напона коришћењем стандардних модела.
8. Закључна разматрања
Литература

Осим наведеног, дисертација садржи проширени резиме на српском и енглеском језику, садржај, номенклатуру, биографију аутора, као и прилоге: изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Предмет проучавања ове дисертације је понашање вишеструких прслина на дуралуминијумским панелима и њихових међусобних интеракција које су анализирани применом нумеричких метода, а у сврху одређивања вредности фактора интензитета напона неопходних за процену заморног века и интегритета оштећене структуре.

У складу са предметом рада, а ради стицања општег увида у проблематику, у **првом поглављу** се указује да је предмет истраживања дисертације појава и ширење вишеструких заморних прслина у носећим ваздухопловним структурама чију је брзину раста неопходно проценити да би се могао предвидети преостали заморни век оштећене структуре. У првом поглављу је дат и преглед класификације оштећења, места и узрока настанка вишеструких прслина на авионским компонентама, а и идентификовани су најважнији параметри који утичу на ову појаву. Везано за вишеструка оштећења, представљени су и модерни приступи пројектовању летелица који су, између осталог, условљени постојећим ваздухопловним прописима из области пројектовања, производње и одржавања летелица, са јасно дефинисаним вредностима толерисаног (допуштеног) оштећења.

У **другом поглављу** представљени су основни концепти линеарно-еластичне механике лома и ширења прслина под замором, као и методе одређивања заморног века структура са оштећењем, са теоријским освртом на фактор интензитета напона као један од најважнијих параметара линеарно-еластичне механике лома. Такође су, кроз преглед литературе, представљене и постојеће методе одређивања фактора интензитета напона (аналитичке и нумеричке), као и нека од постојећих аналитичких решења за једноставније конфигурације са вишеструким оштећењима (две колонеарне прслине једнаких дужина на танкој правоугаоној плочи изложене равномерном затезном/смичућем напону, две колонеарне прслине неједнаких дужина на танкој правоугаоној плочи изложене равномерном затезном/смичућем напону, три колонеарне прслине једнаких дужина на танкој правоугаоној плочи изложене равномерном затезном/смичућем напону).

У **трећем поглављу** посебна пажња је посвећена представљању нумеричких метода које су у самој дисертацији коришћене за одређивање фактора интензитета напона. У питању су проширена метода коначних елемената чија је имплементација спроведена кроз софтверске пакете *Abaqus* и *Morfeo for Abaqus* и за коју је дат и кратак теоријски осврт, затим класична метода коначних елемената чија је имплементација спроведена кроз софтвер *FRANC2D/L* и, коначно, апроксимативна метода базирана на принципу суперпозиције, а чији се значај огледа у могућности коришћења постојећих решења за конфигурације са једном прслином на које се полазна конфигурација са вишеструким прслинама може декомпоновати.

У **четвртном поглављу** је кроз адекватан нумерички пример извршена верификација и валидација нумеричких метода представљених у претходном поглављу. У питању је

конфигурација типична за структурне компоненте летелица, а која се састоји од танке равне плоче са низом отвора (за закивке, нпр.) на еквидистантним растојањима, а где сваки има по две иницијалне колинearне прслине. Претпостављено је да је плоча оптерећена униформним затезним напоном, а анализа је спроведена за три различите вредности оптерећења (50MPa, 100MPa и 200MPa). Поређење резултата добијених коришћењем различитих метода (проширене методе коначних елемената, класичне методе коначних елемената и апроксимативне методе на бази суперпозиције) показало је прилично добро поклапање вредности: разлика је у највећем броју случајева знатно испод 10%, а у најнеповољнијем (тренутак иницирања прслина) износи око 15 %, што се може сматрати задовољавајућим. Као референтне за поређење послужиле су експерименталне вредности публиковане од стране NASA-е.

Пето поглавље доноси анализу ширења вишеструких заморних прслина у закривљеним панелима. Анализирана су четири неојачана закривљена панела од дуралуминијума димензија $L1 \times L2 = 600 \times 400$ mm и дебљина $t = 1.6$ mm са радијусима кривина $R = 1.6$ m, 2.4 m, 3.2 m и 4 m (што су реални радијуси трупова комерцијалних летелица) и различитим бројем отвора са иницијалним прслинама (на сваком отвору генерисане су по две прслине). Коришћењем проширене методе коначних елемената симулиран је раст прслина из три, пет, седам и једанаест отвора на једнаким растојањима на сваком од четири панела при дејству диференцијалног кабинског притиска интензитета $p = 0.054$ MPa, а затим су нумерички одређивани фактори интензитета напона током симултаног раста шест, десет и четрнаест прслина, односно двадесет и две прслине у случајевима кад је број отвора био једанаест. Прорачуни су, слично оним спроведеним са равном плочом, показали да фактори интензитета напона значајно варирају од прслине до прслине, што је потврдило претпоставку – базирану на сазнањима из експлоатације ваздухоплова – да неке прслине на вишеструко оштећеним панелима расту брже од других услед међусобног утицаја суседних оштећења.

У **шестом поглављу** су квантификовани међусобни утицаји оштећења на њихов раст, који је – с друге стране – повезан и са геометријским карактеристикама панела, односно проучаван је утицај броја отвора са прслинама и радијуса панела на вредности фактора интензитета напона. Направљена су и поређења вредности фактора интензитета напона равне плоче анализираних у четвртном поглављу и фактора добијених у петом поглављу, а проучаван је и утицај ојачања панела (у виду дуралуминијумских оквира који се користе на реалним ваздухопловним структурама) на смањење фактора интензитета напона. Коришћењем Парисовог закона процењен је и број циклуса пресуризације-депресуризације трупа који прслине на ојачаним панелима може проширити до критичних дужина.

С обзиром на оригиналност нумеричких модела коришћених у петом поглављу и непостојање експерименталних вредности које би потврдиле вредности фактора интензитета напона добијене симулацијама коришћењем проширене методе коначних елемената, у **седмом поглављу** су вредности фактора интензитета напона одређене аналитички коришћењем постојећих формула за цилиндар са ободном прслином. Радијус цилиндра је вариран од $R = 1.6$ m, преко 2.4 m и 3.2 m до 4 m, а почетна дужина прслине је у свим

случајевима била 2.9 mm. Добијене вредности на цилиндрима су биле истог реда величине као вредности на панелима одговарајућих радијуса, што је у великој мери потврдило ваљаност спроведених прорачуна у петом поглављу.

Осмо поглавље даје кратак резиме, партикуларне закључке за сваки панел одговарајућег радијуса, општи закључак, смернице за даља истраживања, као и остварени допринос кандидата решавању предметне проблематике.

Након свих поглавља дат је списак референтне литературе коришћене током истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Фактори интензитета напона вишеструких прслина на дуралуминијумским панелима” (*Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels*), кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш., осавремењује и унапређује методологију анализе ширења вишеструких заморних прслина у носећим ваздухопловним структурама која је и даље основна методологија за процену заморног века и која ће са побољшањима представљеним у дисертацији – а који су засновани, првенствено, на захтевима савременог ваздухопловства оличеним у смањењу материјалних трошкова и повећењу ефикасности – убрзати процесе пројектовања и производње, те значајно допринети процесу оптимизације одржавања ваздухоплова.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе која је коришћена приликом израде дисертације дат је у посебном одељку рада. Коришћена литература обухвата укупно 100 референци које се баве проблемима заморних прслина, вишеструких заморних прслина и њиховог ширења. Такође, дат је и осврт на основну нумеричку методу коришћену у дисертацији – проширену методу коначних елемената.

Прегледом листе коришћених радова може се закључити да је кандидат имао на располагању и проучио актуелну и надасве референтну литературу. Она је послужила као полазна основа за формирање прегледа досадашњих истраживања и релевантан приказ тренутног стања у области истраживања дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

При изради дисертације примењене су научне методе неопходне за нумеричко-аналитичко моделирање и верификацију и валидацију добијених резултата.

Савремене методе механике лома, којима се анализира ширење заморних прелина, подразумевају нумеричко-експериментални приступ. Све нумеричке анализе изведене су помоћу неких од следећих метода: методе коначних елемената, проширене методе коначних елемената (ПМКЕ) и методе граничних елемената. Верификација и потврђивање резултата добијених применом ПМКЕ извршено је поређењем (метод компарације) са резултатима добијених методом коначних елемената у програму FRANC2D/L, резултатима добијеним експериментално, као и са вредностима добијеним аналитички. Такође, коришћене су и методе статистичке анализе и обраде при поређењу добијених резултата.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације примењиви су у научном смислу, али имају и широку практичну примену. Дефинисана методологија омогућава проучавање других сличних структура.

Резултати спроведене анализе на развијеним оригиналним нумеричким моделима са јасно дефинисаним параметрима механике лома, могу послужити за добијање реалистичне процене брзине раста вишеструких прелина на реалним ваздухопловним структурама (на начин демонстриран у шестом поглављу), што је од огромне важности за поузданост/безбедност ваздухоплова, али и одређивање оптималних интервала одржавања који могу довести до значајног продужења века експлоатације постојећих летелица, што је главни тренд у ваздухопловству данас.

Сазнања добијена током реализације дисертације допринела су унапређењу раније развијене апроксимативне методе (која је већ нашла примену у пракси код вишеструко оштећених равних структура) и додатно проширују њену примењивост и на закривљене структуре са вишеструким заморним прелинама.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да је кандидат демонстрирао смисао за научни рад и знање неопходно за самостално препознавање и систематско решавање инжењерских и научних проблема применом савремених метода теоријског, нумеричког и статистичког карактера као и њиховим комбиновањем, а уз то и ефикасно коришћење актуелне литературе и владање савременим истраживачким методама.

Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси ове дисертације огледају се у:

- Предлогу унапређења методологије одређивања фактора интензитета напона и, консеквентно, заморног радног века вишеструко оштећених дуралуминијумских панела, базиране на геометријским карактеристикама панела (радијус заобљења, број отвора са иницијалним прслинама).
- Квантификовању ефеката интеракције вишеструких прслина и утицаја геометријских параметара на брзину њиховог раста, како у случају равних, тако и у случају закривљених слободних панела израђених од дуралуминијума, материјала најчешће коришћеног у ваздухопловним применама.
- Унапређењу раније развијене апроксимативне методе у смислу да ће убудуће бити могуће ефикасно је користити и код процењивања вредности фактора интензитета напона вишеструких прслина на закривљеним панелима датог радијуса.
- Потврди да проширена метода коначних елемената може да се успешно примени и код тродимензионалних симулација понашања вишеструких заморних прслина на реалним танкозидним носећим ваздухопловним структурама, како равним, тако и закривљеним, у комбинацији са резултатима добијеним експериментално.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области докторске дисертације, може се констатовати да су резултати истраживања у тези значајни и да су примењиви у пракси. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, може се закључити да су пружени одговори на сва релевантна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео током истраживања.

Спроведеним истраживањем установљена је унапређена методологија одређивања фактора интензитета напона у случају дуралуминијумских панела са вишеструким оштећењима, како равних тако и закривљених, базирана на геометријским карактеристикама истих, а у циљу реалне процене њиховог заморног века.

Развијен је велики број оригиналних нумеричких модела помоћу којих се – а на основу дефинисаних параметара механике лома – могу добити реалистичне процене брзине раста вишеструких прслина на реалним ваздухопловним структурама (као што су труп или крило авиона) које се од слободних панела разликују по уздужним и попречним ојачањима (тзв. оквирима и уздужницима).

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација добијених оригиналних резултата остварена је кроз рад објављен у међународном часопису и рад објављен у часопису међународног значаја верификованим посебном одлуком, а који су везани за истраживања спроведена у оквиру докторске дисертације:

Категорија M23 - Рад у међународном часопису

1. **Mustafa Aldarwish**, Aleksandar Grbović, Gordana Kastratović, Aleksandar Sedmak, Mirjana Lazić: STRESS INTENSITY FACTORS EVALUATION AT TIPS OF MULTI-SITE CRACKS IN UNSTIFFENED 2024-T3 ALUMINUM PANEL USING XFEM, Technical Gazette, Vol. 25, No. 6, DOI Number 10.17559/TV-20170309133824.

Категорија M24 - Рад у часопису међународног значаја верификованим посебном одлуком

2. **Mustafa Aldarwish**, Aleksandar Grbović, Gordana Kastratović, Aleksandar Sedmak, Nenad Vidanović: NUMERICAL ASSESSMENT OF STRESS INTENSITY FACTORS AT TIPS OF MULTI-SITE CRACKS IN UNSTIFFENED PANEL, Structural Integrity and Life, Vol.17, No.1, 2017, pp.11–14, ISSN 1451-3749

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „Фактори интензитета напона вишеструких прелина на дуралуминијумским панелима“ (*Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels*), кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш., Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације 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.

Комисија такође сматра да дисертација представља оригиналан и успешан научно-истраживачки рад, са којим је научна и стручна јавност упозната кроз два објављена научна рада, од којих је један објављен у међународним часопису категорије M23, а други у часопису међународног значаја верификованим посебном одлуком категорије M24.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област ваздухопловство, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије, да

дисертацију под називом „Фактори интензитета напона вишеструких прелина на дуралуминијумским панелима“ (*Stress Intensity Factors Evaluation at Tips of Multiple Site Cracks in 2024-T3 Aluminum Panels*), кандидата Мустафе Мохамеда Али Алдарвиша (Mustafa Mohamed Ali Aldarwish), маг. инж. маш., стави на увид јавности и да Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 09.03.2018. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Александар Грбовић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Александар Седмак, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Данило Петрашиновић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет

.....
Др Драган Милковић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Гордана Кастратовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет