

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/280 од 7.11.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње **Тамаре Смољанић**, мастер инж. технологије под називом:

**“Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука”**

После прегледа достављене дисертације и осталог пратећег материјала, и разговора са кандидаткињом, Комисија је саставила следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

-13.10.2017. Тамара Смољанић, мастер инж. технологије је уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитет у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство;

-22.08.2019. Тамара Смољанић, мастер инж. технологије је пријавила тему докторске дисертације под називом **“Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука”**;

-24.08.2019. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, је усвојило предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата одлуком 35/279.

-31.10.2019. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, на основу Извештаја комисије, донета је одлука 35/338 о прихватању предлога теме докторске дисертације кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије, под насловом **“Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука”**;

За ментора ове дисертације је изабрана др Љубица Миловић, редовна професорка Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду;

-28.11.2019. донета је одлука Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду број: 61206-4688/2-19 ЛД о сагласности на предлог теме докторске дисертације Кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије, под називом **“Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука”**;

-7.11.2024. донета је Одлука бр. 35/280 о именовању Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије, под називом **“Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука”**.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је Технолошко-Металуршки факултет, Универзитет у Београду, матична установа.

Ментор ове докторске дисертације је др Љубица Миловић, редовна професорка Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, која је објавила преко 200 научних радова у домаћим и међународним научним часописима, што потврђује њену компетентност да руководи израдом ове докторске дисертације.

### 1.3. Биографски подаци

Тамара И. Смољанић, рођена Мијатовић, мастер инж. технологије рођена је 29. септембра 1985. године у Београду. Основну школу и гимназију завршила је у Београду. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду уписала је школске 2004/2005 на студијском програму Хемијско инжењерство, изборно подручје Фармацеутско инжењерство. Дипломирала је 2015. године са темом завршног рада „Затезна својства и корозиона постојаност биомедицинске легуре титана Ti-13Nb-13Zr“, на изборном подручју Фармацеутско инжењерство. Мастер студије је уписала школске 2015/16. године. Завршни мастер рад „Анализа техноекономске оправданости производње ферментисаних напитака на бази сурутке“, одбранила је 2016. године на смеру Биохемијско инжењерство и биотехнологија. Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду уписује школске 2017/18. године на студијском програму Хемијско инжењерство. Положила је све програмом предвиђене испите и 2019. године одбранила завршни рад на тему “Нумеричка анализа вештачког кука од легура титанијума“ под руководством менторке проф. др Љубице Миловић.

Од јула 2018. године Тамара И. Мијатовић је запослена у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије написана је на 102 стране, 14 табела, 54 слике, 27 формула и 74 референце. Докторска дисертација садржи 8 поглавља: Увод, Биоматеријали, Преглед литературе, Проширена метода коначних елемената и њена примена у области биомедицине, Експериментална испитивања епрувета од легуре Ti-6Al-4V, Нумеричке симулације вештачког кука применом МКЕ, Дискусија резултата и Закључак, као и списак коришћене литературе.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводу* су дати главни циљеви, односно предмет истраживања дисертације и значај који легуре титана имају у модерној биомедицини. Уз то је укратко описана методологија примењена у оквиру дисертације, као комбинација три приступа - експерименталног, аналитичког и нумеричког.

Поглавље *Биоматеријали* обухвата општу причу о материјалима који се користе у биомедицини, нарочито у изради различитих врста импланата и њиховим предностима и манама. Фокус је на легурама титана и њиховим јако добрим карактеристикама, као и на поређењу оваквих легура са другим често коришћеним биоматеријалима. У овом поглављу су такође детаљно описани проблеми који се могу јавити у имплантима, као и механизми отказа до којих може да дође, при чему су за дисертацију најзначајнији замор и корозија.

У поглављу *Преглед литературе* су анализирани резултати истраживања на ову и сличне теме од стране других аутора. Главни циљ овог поглавља је био да прикаже радове који су, између осталог, инспирисали ово истраживање, као и да нагласи оригинални допринос ове дисертације поређењем са другом релевантном литературом у смислу објашњавања шта све методологија из дисертације доноси што претходно није рађено.

Поглавље *Проширена метода коначних елемената и њена примена у области биомедицине* описује теоријске основе методе коначних елемената, њене проширене верзије и начин на који је примењена у оквиру методологије приказане у дисертацији. Проширена метода коначних елемената је објашњена детаљно, уз осврт на класичну МКЕ, с обзиром да је ова прва коришћена у много већој мери током нумеричке фазе истраживања. На крају поглавља је

објашњено на који начин је ПМКЕ примењена у предметној анализи, пре свега у смислу симулације раста заморне прслине у вештачком куку од легуре титана.

У поглављу *Експериментална испитивања епрувета од легуре Ti-6Al-4V* је детаљно описан експериментални део истраживања у оквиру ове дисертације, укључујући испитивање затезањем епрувета подељених у три групе, припрему и испитивање епрувета у сланим и влажним условима, одређивање параметара за испитивање понашања у присуству заморне прслине, као и одређивање параметара механике лома на СТ епруветама. Резултати ових испитивања су коришћени као улазни подаци за аналитичку и нумеричку фазу истраживања. У поглављу *Нумеричке симулације вештачког кука применом МКЕ* су описани бројни нумерички модели који су развијени са циљем да се што реалније прикаже понашање вештачких кукова од легуре титана при статичком и динамичком (променљивом) оптерећењу, укључујући симулацију раста заморне прслине применом ПМКЕ. Као и у случају експеримента, рађене су три групе модела, у зависности од средине којој су епрувете биле изложене. Поред нумеричких симулација, урађен је и аналитички прорачун заморног века на основу експерименталних резултата, а применом принципа линеарно-еластично механике лома.

У поглављу *Дискусија резултата* је дата интерпретација свих резултата, добијених на три претходно описана начина - експериментално, аналитички и нумерички - уз њихово међусобно поређење као начин валидације методологије представљене у оквиру ове дисертације. Поређење резултата за замор добијених нумеричким и аналитичким приступом се показало као јако добро, чиме је главни циљ овог истраживања потврђен.

Коначно, у поглављу *Закључак* су приказани закључци добијени на основу претходних резултата, као потврда претпоставки на којима је заснована дисертација. Детаљно су објашњени и оригинални доприноси овог истраживања, уз осврт на смер у коме би даља истраживања на ову тему могла да теку.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Интегритет и век вештачких кукова је од великог значаја за њихову успешну и дугорочну примену у биомедицинске сврхе, нарочито кад се узме у обзир распрострањеност овакве врсте импланата. Услови у којима вештачки кукови раде су веома неповољни са тачке гледишта материјала, будући да су овакви импланти изложени комбинацији корозије (због средине у којој се налазе) и замора (услед динамичког оптерећења при ходању, трчању, саплитању, пењању уз степенице, итд.). Ови проблеми су одавно познати свима који се баве темом вештачких кукова, али и даље има простора за додатно побољшање њихових карактеристика, којим би се продужио радни век.

Што се замора и корозије тиче, много аутори бавили су се овим темама, као што је и приказано у прегледу литературе, али ретки су примери где је неко узео у обзир њихово комбиновано дејство. Чак и у тим случајевима, анализе су рађене само једним приступом, било експерименталним, било нумеричким. Оригинални допринос истраживања приказаног у овој дисертацији се огледа у примени неколико различитих приступа, тачније 3 - експеримента, нумерика и аналитике. Експериментални резултати су коришћени као основа за друга два приступа, и у исто време послужили као начин верификације примењених метода. Потребно је нагласити да се аналитички приступ ослањао на принципе линеарно-еластичне механике лома, која се тек однедавно користи у овакве сврхе, при чему је највећи део радова који се бави применом исте на интегритет вештачких кукова написан управо од стране аутора ове дисертације и њених коаутора.

Корозија и заморно оптерећење су комбиновани тако што су епрувете за затезање, као и оне за одређивање параметара механике лома прво изложене утицају влажне и слане атмосфере, у складу са одговарајућим стандардима, и након тога испитане са циљем да се њихове

новодобијене механичке и заморне особине упореде са епруветама које су изложене нормалним условима, и утврди колико утицај агресивних средина (какве су присутне у људском телу) скраћује заморни век испитаног материјала.

Овакав приступ анализи заморног века вештачких кукова од легуре титана је такође применљив на друге често коришћене биоматеријале, што је још један битан допринос ове методологије, која на брз и ефикасан начин обезбеђује увид у понашање биоматеријала у присуству заморне прслине у агресивним срединама. При томе су коришћене најсавременије методе, укључујући проширену методу коначних елемената, као и симулирање агресивних услова рада у одговарајућим коморама (влажним и сланим).

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, Кандидаткиња је урадила детаљни преглед научне и стручне литературе из области хемијског инжењерства, биомедицине и механике лома, директно везаним за тему истраживања. Већина литературе која је коришћена у изради дисертације представља радове објављене у међународним часописима.

Преглед литературе обухватио је пре свега истраживања на тему утицаја замора и/или корозије на интегритет имплантата, са фокусом на вештачке кукове и њихов век трајања, као и на различите механизме отказа. Такође је обухваћена литература која се односи на општу причу о биоматеријалима, методи коначних елемената и механици лома.

Преглед литературе је такође омогућио и увид у све што недостаје у претходно урађеном истраживању, како би се осмислила методологија која би дисертацији дала оригиналан допринос. У овој докторској дисертацији наведене су укупно 74 референце из претходно помињаних области.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру истраживања урађеног за потребе ове докторске дисертације, коришћено је неколико научних метода, које су међусобно комбиноване како би се добили што меродавнији и веродостојнији резултати. Ове методе обухватају:

- Експериментална испитивања (затезање, одређивање параметара механике лома, замор), која представљају најпоузданији начин за одређивање механичких и заморних особина материјала, што је потврђено у многим радовима који су референцирани у дисертацији, као и на основу искуства аутора.
- Метод коначних елемената, нумерички приступ који се често користи у комбинацији са експериментима, како би се добили меродавни модели који се могу користити и за друге сличне анализе, уз минималне и једноставне измене по потреби.
- Принципи механике лома, који се такође често користе при одређивању интегритета различитих конструкција и елемената у присуству прслина и који омогућавају прецизно одређивање преосталог радног века.

Експериментална испитивања су обезбедила улазне податке за механику лома и нумерику, и такође показала у коликој мери изложеност агресивним срединама доводи до деградације механичких особина предметне легуре титанијума, док су преостала два приступа помогла у одређивању преосталог заморног века вештачких кукова, потврдивши ефикасност предметне легуре у смислу велике отпорности на замор и корозију.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у докторској дисертацији би могли да имају широку примену у биомедицини, пошто се приказана методологија може применити на различите врсте биоматеријала, различите геометрије вештачких кукова, али и других врста импланата. При томе, комбинована употреба проширене методе коначних елемената ПМКЕ (XFEM) и механике лома у великој мери смањује број експеримената чиме се значајно штеди на материјалима и времену.

#### 3.5. Оцена достигнутих способности Кандидаткиње за самостални научни рад

На основу досадашњег рада и остварених резултата током докторских студија, Кандидаткиња је испољила квалитет и способност за бављење научноистраживачким радом. Током израде дисертације кандидаткиња Тамара Смољанић, мастер инж. технологије, је показала стручност и самосталност у свим фазама израде дисертације. Кандидаткиња је такође пружила значајан допринос у досада недовољно истраженим научним областима својим истраживачким радом, као додатну потврду да поседује квалитет неопходан за самостални научни рад.

### **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

#### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије, под називом “Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука” пружа значајан допринос у области биомедицине.

Неки од резултата који представљају најзначајнији научни допринос су:

- Добијен је реалан заморни век за вештачке кукове изложене различитим срединама и утврђено је како оне агресивније утичу на исти;
- Примена неколико различитих метода које су се међусобно верификовале је потврдила прецизност и валидност добијених резултата;
- Уочени су и извесни практични проблеми и утврђено је на који начин би могли да се реше како би се методологија додатно унапредила;
- Представљена методологија је применљива и на друге случајеве оптерећења, биоматеријале и геометрије имплантата и
- Примена принципа механике лома омогућила је детаљнију и реалнију анализу, како експерименталних, тако и нумеричких резултата.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Добијени резултати су дали детаљан увид у понашање вештачких кукова од легуре титана у различитим условима експлоатације, од којих су неки присутни у људском телу. Експериментална испитивања су дала веома добру основу за даљу анализу, и показала да предметна легура заиста поседује одличну отпорност на корозију, пошто је изложеност агресивним срединама довела до јако малог губитка механичких и заморних особина. На основу овога, јасно је да се методологија развијена за потребе дисертација може применити на било који други материјал са циљем да се одреди у коликој мери корозивна средина негативно утиче на његову отпорност на замор. Прецизним одређивањем преосталог заморног века вештачких кукова је могуће проценити у ком тренутку ће бити неопходна замена, што значи да ова методологија има и дугорочну примену.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња Тамара Смољанић, мастер инж. технологије, је своје резултате потврдила објављивањем радова у међународним часописима и презентовањем радова на конференцијама, међу којима се по свом доприносу нарочито истичу следећи радови:

#### - Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Smoljanić, T.**; Milović, L.; Sedmak, S.; Milovanović, A.; Čolić, K.; Radaković, Z.; Sedmak, A. Numerical investigation of fatigue behavior in ti-6al-4v orthopedic hip implants subjected to different environments. *Materials* 2024, 17, 3796. <https://doi.org/10.3390/ma17153796>

#### - Рад у међународном часопису (M23)

2. **Smoljanić T.**, Milovanović A., Sedmak S., Milović Lj., Sedmak A., Numerical simulation of titanium alloy hip replacement implants behavior under static and dynamic loads, *Hemijska Industrija*, Vol. 77, No. 4, 2023, pp. 283-292, <https://doi.org/10.2298/HEMIND221118026S>

#### - Рад у националном часопису од међународног значаја (M24)

3. **Smoljanić T.**, Sedmak S., Sedmak A., Burzić Z., Milovanović A., Experimental and numerical investigation of Ti-6Al-4V alloy behavior under different exploitation conditions, *Structural Integrity and Life*, Vol. 22, No. 3, 2022, pp. 353-357.

## 5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду бр. 204/22 б. 2018) и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука“, аутора **Тамаре Смољанић**, констатујемо да утврђено подударање текста износи 12%. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података као и претходно публикованих резултата докторандкињиних истраживања проистеклих из њене дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те да се прописани поступак припреме за њену јавну одбрану може наставити (позитивна оцена).

## 6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу горенаведеног, мишљење Комисије је да докторска дисертација Кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије, под називом “Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука”, представља оригиналан научни допринос предметној области истраживања. Оригиналност докторске дисертације Кандидаткиње је потврђена објављивањем више радова у часописима међународног значаја. Постављени предмет и циљеви докторске дисертације су у потпуности остварени, на основу чега Комисија износи мишљење да докторска дисертација под називом “Утицај корозије на интегритет и век вештачког кука” у потпуности испуњава све захтеване критеријуме, као и да је Кандидаткиња током израде дисертације показала самосталност и оригиналност у научно-истраживачком раду.

Имајући у виду квалитет и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, да прихвати овај Реферат, пружи на увид у јавности поднету докторску дисертацију

кандидаткиње Тамаре Смољанић, мастер инж. технологије, у законски предвиђеном року, као и да Реферат упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да након завршетка процедуре позове Кандидаткињу за усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду 20. децембра 2024. године

#### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

1. Др Славиша Путић, редовни професор  
Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду

2. Др Бојан Међо, ванредни професор  
Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду

3. Др Жељко Камберовић, редовни професор  
Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду

4. Др Симон Седмак, научни сарадник  
Иновационог Центра Машинског Факултета у Београду

5. Др Катарина Чолић,  
виша научна сарадница Иновационог центра Машинског факултета у  
Београду