

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Almabrok A. Ashora, дипломираног инжењера машинства.

Одлуком бр. 35/417 од 24.12.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Almabrok A. Ashora, дипл. инжењера машинства, под насловом

„Утицај начина остваривања везе између ојачања и матрице у композиту на бази акрилата и честица алуминијум-оксида на адхезиона и механичка својства композита”

Influence of interphase bonding in acrylate matrix – alumina reinforcement on mechanical and adhesion properties of composite“.

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

- Школске 2015. године кандидат Almabrok A. Ashora, дипл. инжењер машинства, уписао је докторске академске студије на Универзитету у Београду, Технолошко – металуршки факултет, студијски програм Инжењерство материјала.
- 07.03.2019. на седници Наставно-научног већа Технолошко – металуршког факултета, Универзитета у Београду донета је одлука (бр. 35/83 од 07.03.2019.) о именовању чланова Комисије за оцену подобности теме и кандидата Almabrok A. Ashora, дипл. инжењера машинства, под насловом „Утицај начина остваривања везе између ојачања и матрице у композиту на бази акрилата и честица алуминијум-оксида на адхезиона и механичка својства композита.  
Influence of interphase bonding in acrylate matrix – alumina reinforcement on mechanical and adhesion properties of composite“.
- 30.05.2019. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду донета је одлука о прихватању теме докторске дисертације „Утицај начина остваривања везе између ојачања и матрице у композиту на бази акрилата и честица алуминијум-оксида на адхезиона и механичка својства композита  
Influence of interphase bonding in acrylate matrix – alumina reinforcement on mechanical and adhesion properties of composite“, а за ментора именовани су проф. др Радмила

Јанчић-Хајнеман, редован професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, и др Марија Вуксановић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду, одлука бр. 35/192 од 30.05.2019.

- 01.07.2019. на седници Већа научних области Техничких наука, Универзитета у Београду, дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Altabrok A. Ashora, naslovom „Утицај начина остваривања везе између ојачања и матрице у композиту на бази акрилата и честица алуминијум-оксида на адхезиона и механичка својства композита (Influence of interphase bonding in acrylate matrix – alumina reinforcement on mechanical and adhesion properties of composite“), одлука 02 broj 61206-12715/2-18.
- 24.12.2019. на седници Наставно-научног већа Технолошко – металуршког факултета, Универзитета у Београду, донета је одлука о именовану комисије за оцену докторске дисертације Altabrok A. Ashora, дипл. инжењера машинства под насловом „Утицај начина остваривања везе између ојачања и матрице у композиту на бази акрилата и честица алуминијум-оксида на адхезиона и механичка својства композита Influence of interphase bonding in acrylate matrix – alumina reinforcement on mechanical and adhesion properties of composite“ одлука број 35/417. Комисија за оцену докторске дисертације је за председника изабрала проф. др Радмила Јанчић-Хајнеман, редован професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду.

## **1.2. Научна област дисертације**

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Инжењерство материјала за коју је матичан Технолошко – металуршки факултет, Универзитета у Београду. Ментори су проф. др Радмила Јанчић-Хајнеман, редован професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Марија Вуксановић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“, Универзитета у Београду, који су на основу досадашњих објављених радова и искустава компетентан тим да руководи израдом ове докторске дисертације.

## **1.3. Биографски подаци о кандидату**

Кандидат Altabrok A. Ashora, дипл. инжењера машинства, рођен је 27. 02. 1965. године у Зилтену у Либији. Школовао се у Либији, а 1989, године завршио је основне академске студије на Универзитету у Триполију из области материјала и металургије. 2010. године завршио је мастер студије из Индустријског инжењерства. У периоду од 1990. до 2002. године радио је као инжењер у одељењу за механичка својства материјала за Каам индустрију. Од 2002. до 2010. радио је као инжењер на вишем политехничком институту у Зилтену. Од 2010. до 2013. је предавач и шеф машинског инжењерства на вишем политехничком институту у Зилтену. Године 2015. уписао је докторске студије на

Универзитету у Београду и положио све предвиђене испите са средњом оценом 9,93. Има објављена два рада из категорије M22.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **2.1. Садржај дисертације**

Докторска дисертација кандидата Almagrok A. Ashora, дипл. инжењера машинства написана је на енглеском језику и садржи 83 стране А4 формата, 33 слике, 4 табеле и 118 литературних навода.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Резиме (на српском и на енглеском језику), Увод, Теоријски део (Композитни материјали, Класификација композитних материјала, Класификација ојачања, Поли(метил метакрилат), Добијање алуминијум-оксидних честица и њихова површинска модификација; Методе карактеризације), Експериментални део (синтеза и површинска модификација алуминијум-оксидних честица; карактеризација честица и приказ резултата испитивања честица; Припрема композитних филмова на месинганој подлози, испитивање својстава композита и дискусија резултата), Припрема композита на бази полиметил метакрилата, испитивање физичко-механичких својстава и дискусија резултата. Закључак, Прилог А, Литература, Биографија, Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

### **2.2. Кратак приказ појединачних поглавља**

У уводном делу је приказан предмет, садржај и циљ докторске дисертације. Предмет ове докторске дисертације обухвата истраживања у области примене површински модификованих честица алуминијум-оксидних честица на механичка својства и процену адхезије композитних акрилатних материјала и филмова.

У првом поглављу **Теоријског дела** дат је преглед структура и својстава композитних материјала. Почетни део теоријског дела разматра структуру и својства композитних материјала са посебним освртом на карактеристике матрице и ојачања у композитним материјалима. У наставку су продискутоване форме ојачања у композитним материјалима и потом је посебна пажња посвећена акрилатним полимерима који се користе као матрица у великом броју композитних материјала. Дат је преглед различитих начина полимеризовања акрилатних материјала са прегледом предности и недостатака појединих метода. Даље је дат преглед предвиђених материјала који ће се користити као ојачања у композитним

материјалима. У наставку теоријског дела у другом поглављу тезе, дат је преглед метода које ће се користити у карактеризацији појединих компонената као и композитног материјала. На крају у трећем поглављу тезе, дат је преглед метода синтезе алуминијум-оксидних честица и влакана који се користе као ојачања у композитним материјалима заједно са могућностима подешавања својстава композитног материјала модификовањем својстава међуповршине.

Експериментални део рада почиње четвртим поглављем тезе, у коме су продискутовани примењени поступци синтезе алуминијум-оксидних честица заједно са прегледом метода припреме средстава за модификовање површине честица које су биле 3-аминопропил- три-метоксисилан (АМ) и метил-естри масних киселина ланеног уља (биодизел – БД). Један од основних поступака за припрему површине честица подразумева коришћење молекула аминосилана. Ови молекули имају део у коме доминира веза силицијума и кисеоника која даље може да се веже за површину честице алуминијум оксида уколико на њој остану места на којима је ова реакција могућа. Ово је поступак који је коришћен за добијање површинских модификација које су омогућиле да се оствари знатно јача веза између алуминијум-оксида и акрилатне матрице. Недостатак ове метода је у томе што веза алуминијум - кисеоник – силицијум има тенденцију да хидролизује па се губе поједина својства која су постигнута поступком додавања силанских група на површину честице. Да би се ова веза стабилизовала додаје се молекули који је хидрофобан и на тај начин спречава хидролизу ове везе. У овом истраживању, одабрано је да то буде молекул који се добија из природних извора, ланеног уља у овом случају. Посебно су продискутоване методе прераде ланеног уља са циљем добијања молекула који својим својствима омогућавају да се произведе модификација која може да се закачи на силанску групу са једне стране. Ови молекули омогућавају везу са полимерном матрицом са једне стране, али са друге стране стабилизују везу између силана и честица ојачања. Приказани су услови добијања ових модификација на површини честица као и степен повећања отпорности на утицај воде на хидролизу везе између силанске групе и површине честице. Овако карактерисане честице коришћене су као ојачање у два различита композитна материјала: ојачање фотополимеризујућих акрилата (Бисфенол А глицидил метакрилат)/ТЕГДМА (триетилен гликол диметакрилат) и као ојачање у поли (метил метакрилатном) полимеру при чему је испитивано побољшање својстава материјала.

У петом поглављу тезе приказане су могућности коришћења модификованих честица и њиховог утицаја на својства композитних филмова. Као матрица за добијање композитних филмова коришћени су фотополимеризујући акрилатни материјали који омогућавају контролисане услове за полимеризацију у релативно кратком временском периоду. Испитано је како уградња модификованих честица утиче на тврдоћу композитног материјала и на адхезију остварену између филма и металног супстрата. Показало се да модификовање површине честица амиосиланом има боља адхезивна својства него модификовање неполарним молекулима биодизела. Уградња биодизела је стабилизовала везу између ојачања и матрице, али је у извесној мери смањила адхезивност између филма и супстрата. Побољшање адхезије огледа се у повећању параметра који карактерише адхезију у односу на чист полимер који је у случају модификације аминосиланом био 8 пута

већи него онај за чисти полимер, док је за исти додатак од 3 мас. % ојачања за композитни филм који као ојачање има биодизел овај параметар био 7 пута већи него онај за чист полимер.

У шестом поглављу тезе приказана је употреба модификованих честица алуминијум-оксида за ојачавање композитног материјала на бази поли (метил метаакрилата). Добијени су композитни материјали који су показали побољшана својства тврдоће и повећану отпорност на површинску ерозију. Приликом испитивања површинске ерозије коришћени су алати за анализу површине базирани на методама анализе слике тако да су површинска оштећења карактерисана по облику. Како би се сагледала својства површинских оштећења примењена су испитивања оптичком и скенирајућом електронском микроскопијом са циљем издвајања оштећења на површини материјала и упоређивања са стандардним методама праћења површинске ерозије. Ова испитивања употпуњена су коришћењем АФМ анализе површине како би се потврдили закључци изведени из других анализа површине. Материјали су подвргнути анализи жилавости коришћењем удара контролисане енергије и на овај начин добијени су подаци који су показали да се додатком амиосилана добијају, у случају малих количина модификованих честица (1 мас. %), узорци чија је жилавост смањена тек незнатно у односу на саму матрицу. Приликом испитивања узорака са хидрофобном модификацијом површине углавном је дошло до смањења жилавости материјала.

На крају рада изведен је **Закључак** у коме су концизно изнети постигнути резултати у истраживању, а који одговарају постављеним циљевима дисертације. На крају су дати и списак коришћене **Литературе**, биографија кандидата, изјаве о ауторству и истоветности штампане и електронске верзије рада.

## **ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

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

Композитни материјали представљају један од изазова у добијању материјала којима се могу подешавати својства. Инжењерство материјала, веома често, се налази пред изазовом да се синтетишу материјали којима су својства унапред задата. У оквиру ове тезе показано је како се коришћењем површинских модификација честица ојачања добијају материјали који имају измењена својства тврдоће, жилавости и адхезивности. Показало се и да се избором одговарајућих ојачања стабилизује веза између површине честица и матрице тако да материјал постаје отпорнији на дејство влаге што је значајно када се користи материјал у специфичним условима. Даље показано је како се могу подешавати својства тврдоће и жилавости материјала избором одговарајућег ојачања материјала.

### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

У дисертацији је цитирано 118 референци од којих је велики број референци које су настале у последњих 15 година. Литературни наводи коришћени су за поткрепљивање закључака и

анализу резултата. У литературним наводима налазе се и радови самог кандидата који су били резултат ових истраживања.

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

Алуминијум-оксид могуће је синтетисати на велики број начина и углавном се стратегија избора начина синтезе одређује према могућностима постизања одговарајуће морфологије и кристалне структуре производа. У оквиру овог рада изабран је начин синтезе алуминијум-оксида сол-гел техником како би се испитала својства материјала добијеног коришћењем ових честица као ојачања. Како би се подесила својства површине синтетисаних честица коришћене су методе модификације површине коришћењем органо-силана који има могућност везивања за површину неорганских честица, као и додавањем великих неполярних молекула који стабилизују ову везу у условима изложености влази.

Морфологија синтетисаног оксида праћена је коришћењем оптичке и скенирајуће електронске микроскопије. На овај начин омогућено је сагледавање морфолошких карактеристика добијеног производа и корелисање ових својстава са могућим применама материјала. Посматрано је како се површинска модификација честица одражава на понашање честица у односу на воду, као и како их је могуће користити у изради композитног материјала.

За карактерисање кристалне структуре коришћена је рентгенска анализа, а за карактерисање површине материјала коришћена је инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом. Анализом ових резултата омогућено је сагледавање утицаја модификација површине честице на структуру површине материјала и евентуалну компатибилност са матрицом.

Испитивање механичких својстава композитних материја вршено је мерењем тврдоће Викерсовом методом, ударом контролисане енергије и испитивањем својстава адхезије композитног филма ојачаног припремљеним честицама. Процена адхезије композитних филмова на месинганој подлози утврђена је мерењем угла квашења и математичким моделима за процену адхезије.

Утицај додатка ојачања са модификованом површином на механичка својства испитана су на материјалу са ПММА матрицом. Ова испитивања су употпуњена испитивањима површинске ерозије материјала која су упоређена са својствима тврдоће материјала. Применом техника визуелизације добијене су дигиталне слике које су обрађене методама анализе слике како би се добили што релевантнији подаци који омогућавају доношење закључака о понашању материјала у условима изложености површинској ерозији. Овај начин анализе омогућава да се визуелна испитивања квантификују и корелишу са својствима честица ојачања.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Композитни материјали са унапред задатим својствима представљају изазов у истраживањима савремених материјала. У оквиру овог рада показано је како се подешавањем површине честица ојачања омогућава подешавање својстава материјала посебно у смислу заштите везе између ојачања и матрице у условима изложености води. Ови резултати могу се применити у изради материјала који су у контакту са ткивима људи и животиња. Друга предност ових модификација јесте њихово порекло. Хидрофобни молекули су синтетисани из биолошких извора и добијени материјал биће мање штетан за околинду када буде изложен утицају спољашње средине.

### **3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад**

Кандидат Altabrok A. Ashor, дипл. инжењера машинства је од почетка свог бављења истраживачким радом показивао склоност ка планирању и интерпретацији експерименталних резултата. Током израде дисертације кандидат Altabrok A. Ashor, показао је способност самосталног закључивања и интерпретације резултата, али и способност сарадње са колегама.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

Испитивање својстава композитних материјала који као ојачање имају честице алуминијум-оксида модификоване на два начина показале су да се контролисањем избора начина синтезе честица и подешавањем њихове површине могу остварити следећи доприноси:

- Избор начина синтетисања честица погодних за израду ојачања у композитном материјалу у погледу постизања жељене микроструктуре и кристалне структуре.
- Оптимизовање начина модификације површине честица како би се ојачала веза између честица ојачања као и стабилизација веза између површине честице ојачања и полимерне матрице.
- Коришћење честица са модификованом површином за добијање композитног материјала са различитим акрилатним матрицама.
- Утврђено је да предложене модификације површине честица повећавају тврдоћу добијених филмова са матрицом на бази Бис ГМА/ТЕГДМА као и да побољшавају својства адхезије ових филмова на металној површини. Показало се да предложене модификације омогућавају повећавање адхезије између филма и субстрата које су вишеструко веће у поређењу са чистим филмом.
- Честице модификоване предложеним методама показале су се као добар избор за добијање композита са ПММА као матрицом и показало се да њиховим додатком настају композити са побољшаним својствима тврдоће и отпорности на површинску ерозију.
- Оптимизација својстава у погледу жилавости постиже се одабиром ојачања које ће омогућити добијање материјала чија је жилавост упоредива са жилавошћу самог материјала матрице.

## **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

Корелација структурних параметара материјала са својствима добијеног материјала представља основу науке и инжењерства материјала. Овај аспект науке о материјалима постаје посебно значајан у области композитних материјала где је потребно не само одабрати својства матрице и ојачања, него и утицати на површину преко које се остварује контакт између матрице и ојачања материјала. У оквиру ове тезе показано је како се могу подесити кристална структура ојачања у виду честица алуминијум-оксида и како се подешавањем својстава површине ових честица може утицати на својства добијеног композита. Коришћене су модификације коришћењем амио-силана као и секундарна модификација коришћењем великог неполарног молекула добијеног из ланеног уља. Овај феномен проучен је на два примера коришћења ових честица као ојачања у композиту са акрилатном матрицом при чему су испитана својства филмова на металном субстрату у коме је акрилатну матрицу чинила смеша Бис ГМА/ТЕГДМА показујући значајна побољшања механичких својстава самог филма као и повећане адхезије између филма и супстрата. Са друге стране истоветне модификације површине честица показале су се као значајне у добијању материјала са ПММА као матрицом при чему су побољшана својства тврдоће и отпорности на површинску ерозију. Истовремено омогућено је да се минимизује губитак жилавости приликом коришћења ових ојачања у композиту.

## **4.3. Верификација научних доприноса**

Током израде тезе кандидат Almabrok A. Ashor, дипл. инжењера машинства објавио је два научна рада, категорије M22, са резултатима свог истраживања.

Категорија M22:

1. **Almabrok A. Ashor**, Marija M. Vuksanović, Nataša Z. Tomić, Aleksandar Marinković, Radmila Jančić Heinemann, 'The Influence of Alumina Particle Modification on the Adhesion of the Polyacrylate Matrix Composite Films and the Metal Substrate', Composite Interfaces, 26 (2019), 417-430.  
<https://doi.org/10.1080/09276440.2018.1506240>.
2. **Almabrok A. Ashor**, Marija M. Vuksanović, Nataša Z. Tomić, Miloš Petrović, Marina Dojčinović, Tatjana Volkov Husović, Vesna Radojević, Radmila Jančić Heinemann, "Optimization of Modifier Deposition on the Alumina Surface to Enhance Mechanical Properties and Cavitation Resistance." Polymer Bulletin 1–18 (2019).  
<https://doi.org/10.1007/s00289-019-02923-8>.

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Докторска дисертација Almabrok A. Ashora, дипл. инжењера машинства, под називом „Утицај начина остваривања везе између ојачања и матрице у композиту на бази акрилата и честица алуминијум-оксида на адхезиона и механичка својства композита“



**„Influence of interphase bonding in acrylate matrix – alumina reinforcement on mechanical and adhesion properties of composite“** сагледава испитивање механичких својстава акрилатних композита и филмова ојачаних површински модификованим честицама алуминијум оксида на начин како је осмишљена наука о материјалима повезујући својства композита са начином његове припреме и његовом структуром посебно обрађајући пажњу на морфолошка својства материјала. Испитана је и отпорност композитних материјала на кавитацију као и процена адхезије овом методом.

На основу прегледа дисертације и сагледавања научних резултата остварених и презентованих у оквиру тезе Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да се докторска дисертација под називом **„Утицај начина остваривања везе између ојачања и матрице у композиту на бази акрилата и честица алуминијум-оксида на адхезиона и механичка својства композита**

**Influence of interphase bonding in acrylate matrix – alumina reinforcement on mechanical and adhesion properties of composite“** кандидата Almabrok A. Ashora, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд, 21.02.2020. године

#### **Чланови комисије**

Др Радмила Јанчић Хајнеман, редовни професор, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

Др Марија Вуксановић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду

Др Весна Радојевић, редовни професор, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

Др Срђан Тадић, научни сарадник, Иновациони центар Машинског факултета, Универзитет у Београду

Др Александар Маринковић, ванредни професор, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

Др Наташа Томић, научни сарадник, Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета

---

---