

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o uradjenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Somaya Ahmed Ben Hassan**

Odlukom br. 35/124 od 26.05.2014 godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Somaya Ahmed Ben Hassan, pod naslovom

Struktura i fizičko-mehanička svojstva stomatoloških hibridnih kompozitnih materijala
("Structure and the physical and mechanical properties of dental hybrid composite materials")

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom Somaya Ahmed Ben Hassan, Komisija je sačinila sledeći

REFERAT

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

02.12.2010. - Rešenjem broj 06-613-4182/3-10 od 02.12.2010. godine doneto je Rešenje rektora Univerziteta u Beogradu kojim se Somaya Ahmed Ben Hassan priznaje strana visokoškolska isprava stečena u inostranstvu, čijim priznavanje stiče pravo na nastavak obrazovanja na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu-prijava doktorske disertacije.

19. 04. 2012. - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije Somaya Ahmed Ben Hassan, pod nazivom „Struktura i fizičko-mehanička svojstva stomatoloških hibridnih kompozitnih materijala”.

24. 05. 2012. - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije i odobrenju izrade doktorske disertacije Somaya Ahmed Ben Hassan, pod nazivom „Struktura i fizičko-mehanička svojstva stomatoloških hibridnih kompozitnih materijala” Za mentora je određen Prof. dr Radoslav Aleksić.

02.07.2012. - Veće naučnih oblasti tehničkih nauka donosi odluku (br. 06-19484/29-12) po kojoj daje saglasnost na predlog teme Somaya Ahmed Ben Hassan, pod nazivom „Struktura i fizičko-mehanička svojstva stomatoloških hibridnih kompozitnih materijala”.

22.05.2014.- Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 22.05.2014 godine (Odluka br. 35/124 od 26.05.2014) godine imenovana je Komisija za pregled i ocenu doktorske disertacije u sastavu: Dr Radoslav Aleksić, red. prof. TMF, Dr Petar Uskoković, red. prof. TMF, Dr Vesna Radojević, van. prof. TMF, Dr Radmila Jančić-Hajnemann, van. prof. TMF, Dr Kosovka Obradović- Đuričić, red. prof., Stomatološki fakultet, Beograd.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor doktorske disertacije je dr Radoslav Aleksić, redovni profesor iz uže naučne oblasti inženjerstvo materijala. Prema SCOPUSU mentor je autor 58 radova u

časopisima sa SCI liste, koji su citirani 357 puta, vrednost h faktora je 8. Mentor je rukovodio izradom 16 doktorskih disertacija.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Somaya Ahmed Ben Hassan je rođena 04.07.1980. godine u Ziltenu, Libija. Studirala je na Al-Fateh Univerzitetu u Tripoliju, Libija, gde je 2005 godine stekla diplomu B-Tech (Physics). Magistarske studije u periodu od 2007 do 2009 godine završila je na odseku za fiziku i nauku o materijalima i inženjerstvu materijala (Department of Physics and Materials Science and Engineering) koji je u okviru Univerziteta u Nadoi (Jaypee Institute of Information Technology University, Noida) Indija. Magistarski rad pod naslovom *Studies On Ion Conducting Gels* odbranila je maja 2009 godine i stekla diplomu magistra tehnologije u nauci i inženjerstvu materijala (Master of Technology in Materials Science and Engineering).

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Somaya Ahmed Ben Hassan pod nazivom „Struktura i fizičko-mehanička svojstva stomatoloških hibridnih kompozitnih materijala” napisana je na 109 strana, sadrži 5 tabela, 39 grafičkih prikaza i 200 literaturnih navoda.

Doktorska disertacija sadrži sledeća poglavlja: Apstrakt (na srpskom i engleskom jeziku); Uvod; Stomatološki kompozitni materijali, Hibridni materijali u stomatologiji, Pобољшanje performansi stomatoloških kompozita nanovlaknima, Nanomehanička svojstva stomatoloških kompozita, Dinamičko-mehanička analiza polimernih kompozita, Istraživanje modifikacije poli (metil metaakrilata) nanočesticama i vlaknima alumine, Istraživanje dobijanja modifikovanih nanokompozitnih vlakana poli (vinil butiral)-sepilolit; Zaključak; Prilozi i Literatura.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodnom poglavlju je dat prikaz pojam i značaj stomatoloških kompozitnih materijala. Savremena stomatološka praksa promovise kompozitne materijale kao jednu od najznačajnijih grupa gradivnih materijala u stomatologiji. Iako su primarno koncipirani kao materijali za ispune, danas se materijali sličnog sastava koriste za cementiranje protetskih i ortodontskih nadoknada i aparata, izradu privremenih krunica, mostova i endodontskih kočica, kao materijal za zalivanje jamica i fisura, sredstva za punjenje kanala korena i dr. Današnji stomatološki kompozitni materijali sadrže više komponenata, ali su glavni sastojci organska komponenta ili matrica i neorganska komponenta ili punilo, od čijih odnosa zavise fizičke i hemijske karakteristike kompozita. Osim organskog i neorganskog dela, kompoziti sadrže: organsko-neorganska jedinjenja za vezivanje (silan, lepak) koji vezuje neorganske čestice (punioce) za organsku matricu; aktivator-inicijator, neophodan za polimerizaciju (očvršćavanje) smole; aditive-stabilizatore, koji obezbeđuju stabilnost materijala; inhibitore, koji sprečavaju preranu polimerizaciju, i pigmente, koji kompozitima daju različite nijanse boja, slične boji zuba.

U drugom poglavlju dat je prikaz strukture, svojstava i klasifikacije stomatoloških kompozitnih materijala. Stomatološki kompozitni materijali sadrže matricu koji čine osnovu organskog dela kompozita kao smešu različitih oligomera na bazi poli (metil metaakrilata). Neorganski deo kompozita je punilac mineralnog je sastava. Ubacivanjem punilaca u organsku komponentu, kompozitni materijali dobijaju, pre svega, mnogo bolja mehanička svojstva, visok stepen čvrstoće, tvrdoće i veću otpornost na pritisak i habanje. Pored ovih poboljšanja, ubacivanjem punilaca u smolu smanjuje se koeficijent termičkog širenja. Ova poboljšanja se postižu pod uslovom da su neorganske čestice dobro vezane za polimernu matricu.

Sa druge strane, skupljanje organskih smola pri polimerizaciji iznosi oko 6 zapr.%. Skupljanje će biti znatno manje ukoliko se organskoj smoli dodaju neorganske čestice. Što je

veća količina neorganskih čestica, skupljanje kompozita je manje, čime se dobija kvalitetniji materijali. Problem skupljanja, bez obzira na mnoga poboljšanja i modifikacije oblika čestica, još uvek nije rešen što predstavlja veliki problem u njihovoj kliničkoj primeni.

Da bi se popunili inersticijski prostori između makročestica i povećao maseni udeo neorganske komponente kompozita neophodno je imati čestice daleko manje veličine (prosečno 0,04 μm), koje predstavljaju tzv. mikropuniocice. Mikro-čestice mogu biti mineralne i organsko mineralne, a dobijaju se na dva načina. Pošto mnoga fizička svojstva kompozita zavise od zapreminskog udela punioca u polimernoj matrici, veličine i rasporeda čestica, jasno je da bi poboljšani kompozit bio hibridan tj. kompozit koji sadrži mešavinu različitih tipova veličina čestica punioca. Količina mikropunioca koji mogu biti uneti u organsku smolu, zavisi od njihove površine. Za dobra fizička i mehanička svojstva kompozitnog materijala izuzetno je važno da se neorganske čestice punioca, koje su ubačene u organsku matricu, što bolje međusobno vežu. Dobro vezivanje omogućava fleksibilnoj organskoj matrici da prenese naprezanje kojim je materijal izložen u ustima na čvrste neorganske čestice punioca. Dobro vezujuće sredstvo takođe poboljšava hidrolitičku stabilnost kompozita, sprečavajući da voda proдре u granične površine između polimera i čestica punioca. Najčešće korišćeno vezujuće sredstvo je gama-metakriloksi-propil-trimetoksi-silan. Ovo organsko-neorgansko jedinjenje ima molekule dvostruke funkcionalnost. S jedne strane, reaguju sa česticama punioca stvarajući stabilnu vezu tipa Si-O-Si, a sa druge strane, vezuju se za organsku matricu stvarajući kovalentne veze.

U trećem poglavlju dat je prikaz strukture i svojstava stomatoloških hibridnih nanokompozitnih materijala. Svojstva kompozita zavise od svojstava konstituenata, sadržaja konstituenata, interakcije konstituenata (sinergistički efekat), raspodele konstituenata, geometrije i orijentacije ojačanja. Stepен uticaja dispergovane faze u obliku vlakana na svojstva kompozita zavisi od: a) zapreminskog udela, b) prečnika, c) oblika, d) raspodele i e) orijentacije. Najšire korišćena ojačavajuća, diskontinualna čvrsta faza u kompozitima je u obliku vlakana, što je posledica činjenice da se u mnogim materijalima kada su u obliku vlakana postižu izvanredna fizičko-mehanička svojstva. Oriјentacija diskontinualne faze utiče na izotropiju svojstava materijala. Ojačanje u obliku približno ekvialsijalnih čestica određuje potpunu izotropiju svojstava kompozita. Ako dimenzije čestica nisu identične, kompozit je izotropan samo kad su čestice nasumično orijentisane, kakav je slučaj kod kompozita ojačanih nasumično orijentisanim, kratkim vlaknima. Struktura i svojstva međupovršina između konstituenata u kompozitnom materijalu igraju vrlo bitnu ulogu u određivanju fizičkih i mehaničkih svojstava kompozitnih materijala. Naročito, velike razlike između termičkih i elastičnih svojstava konstituenata sučeljavaju se preko međupovršine, odnosno naprezanja koja deluju na matricu i prenose se na ojačanje kroz međupovršinu.

Zahvaljujući napretku savremenih tehnologija, razvili su se takozvani nanokompozitni materijali, koji se dele u tri kategorije. Prva kategorija odnosi se na materijale smanjenih dimenzija, u obliku čestica, vlakana i filmova, koji mogu biti izolovani tj. nezavisni ili deponovani na odgovarajućim supstratima, druga kategorija nanomaterijala formira se u odgovarajućim oblastima površina osnovnog materijala, i treća kategorija odnosi se na nanostrukturne materijale koji su nastali odgovarajućom preraspodelom raznorodnih atoma i molekula u okviru osnovnog materijala. Nema sumnje da je nanotehnologija-tehnologija budućnosti na kojoj se zasniva proizvodnja naprednih stomatoloških materijala. Napredni materijali predstavljaju najnoviju generaciju materijala koji svojim karakteristikama (žilavost, čvrstoća, tvrdoća, elastičnost) nadmašuju konvencionalne materijale.

U četvrtom poglavlju dat je prikaz metode dobijanja nanokompozitnih vlakana elektropredenjem i analiza njihove mogućnosti primene u stomatologiji. Proces elektropredenja-elektrospininga se zasniva na primeni visokonaponskog električnog polja što omogućuje formiranje mikro ili nano vlakana iz polimernog koloidnog rastvora ili rastopa.

Metode elektrospininga i koelektrospininga omogućavaju dizajniranje različitih nivoa strukture za formiranje hijerarhijsko organizovanog nanokompozita baziranog na nanovlaknima. Prvi nivo podrazumeva formiranje kompozitnog nanovlakna od nanočestica ili sekundarnog polimera pomešanog sa rastvorom primarnog polimera. Upotrebom mlaznice sa

dva otvora, drugi sloj materijala se može naneti preko materijala iz prvog nivoa tokom procesa elektrosparinga, što predstavlja drugi nivo strukture. Kod trećeg nivoa strukture se različite površinske prevlake ili tehnike funkcionalizacije mogu primeniti da bi se uvele dodatna svojstva površine nanovlakana. Kod četvrtog nivoa se vlakna orijentišu i organizuju da bi se poboljšale performanse. Na kraju, peti nivo strukture podrazumeva ugrađivanje nanovlakana u matricu. Rezultujući kompozit će imati odgovarajuće performanse i funkcionalne grupe u skladu sa svojom hijerarhijskom strukturom. U multifunkcionalnim nanokompozitima, brojne funkcije se ugrađuju na svakom od hijerarhijskih nivoa. Funkcionalne grupe na nanovlaknima bi trebalo da su izložene uslovima koji se nalaze u okruženju, tj. njihova inkapsuliranost je nepoželjna. Matrica bi trebalo da bude porozna zbog detekcije spoljašnjih stimulanasa. Za zaštitu je potreban materijal sa raznovrsnim funkcijama. Funkcije koje se ugrađuju u kompozite podrazumevaju detekciju biohemijskih rizika, kontakt sa rizikom i konačno, neutralizaciju rizika. Kompozit mora, takođe, delovati u različitim uslovima u okruženju i posedovati superiorna mehanička svojstva.

U petom poglavlju data je nanomehanička analiza nanomodifikovanih kompozitnih filmova primenom metode nanoindentacije. Utiskivač poznatog oblika, a najčešće je to trostrana piramida definisane geometrije (tip Berkovich), utiskuje se u površinu materijala koji se ispituje pri čemu se istovremeno prati zavisnost sile i dubine utiskivanja. Na osnovu tih podataka jednostavno se izračunavaju redukovani modul elastičnosti ispitivanog materijala E_r kao i njegova tvrdoća H . U najčešće korišćenoj opciji ove metode, podaci se dobijaju iz jednog punog ciklusa opterećenja tj. utiskivanja indentera u površinu materijala, koji se ispituje i rasterećenja.

U šestom poglavlju dat je prikaz dinamičko-mehaničke analize sa osvrtom na primenu kod stomatoloških polimernih kompozita. Dinamičko-mehaničkom analizom prati se odziv materijala na cikličnu deformaciju, pri čemu se deformacija i naprezanje menjaju s vremenom. DMA razdvaja viskoelastični odziv materijala na dve komponente modula, čime se opisuju dva nezavisna procesa unutar materijala: elastičnost (sačuvana energija, E') i viskoznost (energija izgubljena na unutrašnja trenja, E''). To i predstavlja osnovni značaj dinamičko-mehaničke analize, po kojoj se ona razlikuje od ostalih mernih tehnika za ispitivanje mehaničkih svojstava materijala. Modul sačuvane energije i viskoznost vrlo su osetljivi na pomeranja molekula i njihovih segmenata. Naime, različitim vrstama kinetičkih jedinica potrebno je različito vreme da bi se reorganizovale zbog termičkih kretanja, odnosno reorganizovanje se odvija različitim frekvencijama. Pokretljivost kinetičkih jedinica zavisi od njihove veličine.

Ako veličine E' i E'' ne zavise od apsolutnog iznosa amplitude deformacije radi se o linearnom viskoelastičnom ponašanju. Da bi mereni materijali pokazali linearno viskoelastično ponašanje, kod dinamičko-mehaničkih merenja najčešće se radi s malim amplitudama. Prilikom izlaganja materijala oscilacijama visokih frekvencija i amplituda takođe može doći do njegovog zagrevanja zbog vibracija molekula, pa se i stoga prilikom DMA merenja koriste niske frekvencije i amplitude deformacija. Pri velikim amplitudama dolazi i do trajne deformacije materijala, stvaranjem mikroskopskih pukotina ili popuštanjem usled zamora materijala.

Dinamičko-mehanička analiza je od velikog značaja za karakterizaciju polimernih i kompozitnih materijala, a posebno je pogodna za praćenje prelaza polimera iz elastičnog u viskoelastično stanje. U staklastom području ne dolazi do promene konfiguracije makromolekula, već deformaciju uzrokuje lokalno pomeranje pojedinih delova makromolekula. Modul sačuvane energije mnogo je veći od modula izgubljene energije pa se znatno više energije sačuva nego što se izgubi periodičnim deformacijama. U prelaznom području (područje maksimuma modula gubitka) delovanjem cikličkog opterećenja delovi makromolekula postaju sve pokretljiviji, pa se veliki deo energije gubi u obliku toplote na svladavanje trenja. Modul gubitka raste dok istovremeno modul sačuvane energije naglo opada.

U sedmom poglavlju dat je detaljan prikaz eksperimentalnih istraživanja uticaja uslova sinteze nanokompozita sa nanočesticama i vlaknima alumine u matrici poli (metil metaakrilata) sa prikazom rezultata karakterizacije i detaljnom analizom dobijenih rezultata.

U osmom poglavlju disertacije dat je detaljan pregled rezultata istraživanja uticaja procesnih parametara elektropredenja na uniformnost, morfologiju i sastav nanokompozitnih vlakana u obliku mata sepiolit-poli (vinil butiral).

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Stomatološki materijali, kao deo biomaterijala, intenzivno se razvijaju u okviru nanotehnologija. Postoje dva osnovna pravca u primeni nanotehnologija kod stomatoloških materijala: a) stvaranje novih stomatoloških nanokompozitnih materijala i b) modifikacija površina stomatoloških materijala na nanonivou.

Zahvaljujući čvrstoći i estetskim svojstvima, novi stomatološki nanokompozitni materijali pronalaze sve veću primenu u restauraciji zuba. Stomatološki nanokompozitni materijali imaju veću translucenciju i bolju ispoliranost u odnosu na standardne dentalne kompozitne materijale.

Nanopunioci se razlikuju od tradicionalnih punilaca i zahtevaju poseban pristup u proizvodnji. Prema veličini, punioci mogu biti: a) nanomeri - prosečna veličina čestica je od 5 do 75 nm; b) nanoklasteri - prosečna veličina skupine je 1 μ m i sastavljena je od primarnih čestica prosečne veličine od 2 do 20 nm; i c) konvencionalni punioci - prosečna veličina čestica je 1 μ m. Moguće su i kombinacije čestica različitih veličina, kao i kombinacije raznorodnih čestica.

Originalnost ideje koja je realizovana u okviru istraživanja do kojih se došlo u toku izrade ove doktorske disertacije je primena ojačanja u obliku nano čestica i viskera aluminijum oksida. Posebno je ispitana mogućnost primene prirodnog vlaknastog minerala sepiolita u obliku nanovlakana u polimerima što prema detaljnom literatuturnom pregledu do sada nije objavljeno u literaturi.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U okviru ove disertacije ostvareni rezultati drugih autora su korektno citirani sa 200 navoda. Posmatrano na naučnom nivou značaj rezultata do kojih se došlo pri izradi ove doktorske disertacije je u utvrdjivanju da je zamena nanočestica sa nanoviskersima i nanovlaknima dobar pravac istraživanja i razvoja, jer ovom zamenom se značajno poboljšavaju mehanička i tribološka svojstva stomatoloških kompozitnih materijala. Ovim je i potvrđena osnovna hipoteza na kojoj su bila zasnovana istraživanja u okviru ove doktorske disertacije. Ona je zasnovana na mikromehaničkoj i nanomehaničkoj analizi mehanizma ojačavanja polimera kratkim vlaknima prema kojoj odnos granične površine vlakna i zapremine je znatno veći nego što je to kod čestica sfernog oblika čime se postiže znatno veća mogućnost poboljšanja mehaničkih svojstava ovih kompozitnih materijala.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Proces proizvodnje nanovlakana iz različitih materijala, kontrola uređenja nanovlakana u cilju optimizacije strukturnih zahteva i, konačno, inkorporacija dodatnih komponenata u nanovlakna, su potrebni da bi se formirao kompleksni hijerarhijsko organizovan nanokompozit. Savremena tehnika proizvodnje nanovlakana, poznata kao elektropredjenje, predstavlja bitan potencijal za dizajniranje nanokompozita organizovanih u više nivoa. U okviru ove disertacije korišćen je elektrospining uređaj. Elektrospining uređaj (Electrospinner CH-01, Linari Engineering) sastoji se od 20 ml plastičnog šprica sa metalnom iglom unutrašnjeg prečnika 0,8 mm koji je postavljen u pumpu za precizno doziranje (R-

100E, RAZEL Scientific Instruments) i izvora visokog napona (Spellman High Voltage Electronics Corporation, Model: PCM50P120).

Priprema polimernih koloidnih rastvora za izradu prekursora za kompozitna nanovlakna radjena je na uređaju za ultrasonifikaciju (Sonics Vibra Cell, VCX 750, 19 mm Ti sonda, 20 kHz).

Geometrijska svojstva nanovlakana čine prečnik vlakna, raspodela prečnika, orijentacija vlakana i morfologija vlakana (npr. oblik poprečnog preseka i hrapavost površine). Morfologija alumina sferičnih nanočestica karakterisana je na elektronskom mikroskopu (FESEM), MIRA3 TESCAN, pri 20 kV. Morfologija uzoraka kompozita karakterisana je skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM) Jeol JSM 5800, pri 20 kV.

Za istraživanja geometrijskih svojstava morfologije formiranih vlakana korišćen je optički transmisijni mikroskop tip OLYMPUS CX41.

Proces površinske modifikacije nanočestica praćen je metodom infracrvene spektroskopije (FTIR) u intervalu između 400 i 4000 cm^{-1} sa rezolucijom od 4 cm^{-1} korišćenjem BOMEM spektrofotometra (Hartmann & Braun, MB-series).

Uticaj udela ojačanja kao i jačina veze ojačanje-polimer za različite temperature i frekvencije dinamičkih naprezanja uspitivan je primenom dinamičko-mehaničke analize (DMA). Korišćen je uređaj DMA Q800, TA Instruments.

Pri izradi predložene doktorske disertacije razvijena je metoda za karakterizaciju nanokompozitnih vlakana izradom posebnih alata za karakterizaciju nano i mikro kompozitnih vlakana primenom dinamičko-mehaničke metode (DMA).

Ispitivanje efekata modifikacije stomatoloških hibridnih kompozitnih materijala sa aspekta nanomehaničkih svojstava ispitivani su primenom metode nanoindentacije (utiskivanjem i habanjem). Korišćen je uređaj Hysitron TI 950 TriboIndenter opremljen sa in-situ SPM analizom slike (Hysitron, MN).

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Eksperimentalni rezultati do kojih se došlo predstavljaju solidnu osnovu za nastavak daljih istraživanja u oblasti primene nanokompozitnih vlakana u modifikovanju standardno prihvaćenih receptura mikro kompozitnih stomatoloških materijala.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalan naučni rad

Analizom i obradom stanja razmatranog problema, korišćenjem aktuelne i referentne literature, prikazanim rezultatima i zaključnim razmatranjima Kandidat je pokazao da je sposoban da samostalno rešava istraživačko razvojne probleme i da uspešno vlada korišćenim istraživačkim metodama.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Ostvareni su sledeći naučni doprinosi:

- Utvrđeni optimalni uslova modifikacije površine sepiolita sa AMEO silanom i dobijeni uzorci sepiolit-poli (vinil butiral) nano kompozitnih vlakana sa različitim udelima sepiolita (3 mas.%, 30 mas.% i 50 mas.%), što do sada nije publikovano u referentnoj literaturi.
- Izmerena dinamičko-mehaničkih svojstva mata od nano modifikovanih i mikro modifikovanih kompozitnih vlakana sa različitim udelima sepiolita (3 mas.%, 30 mas.% i 50 mas.%) primenom nove metode karakterizacije.
- Dobijeni uzorci aluminijum oksid-poli (metil metaakrilat) kompozita sa različitim udelima nanočestica aluminijum oksida (1 mas.%, 3 mas.% i 5 mas.%).

- Dobijeni uzorci aluminijum oksid-poli (metil metaakrilat) kompozita sa različitim udelima viskera aluminijum oksida (1 mas.%, 3 mas.% i 5 mas.%).
- Komparativna analiza i korelacija dinamičko-mehaničkih svojstava i nanomehaničkih svojstva kompozita poli (metil metaakrilat) sa različitim ojačanjem u obliku nano čestica i viskera aluminijum oksida.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja u okviru ove diktorske disertacije izvedena su sa ciljem: a) sinteze i karakterizacije multifunkcionalnih nanokompozitnih vlakana i b) sinteze i karakterizacije nanomodifikovanih stomatoloških kompozitnih materijala sa poboljšanim svojstvima na bazi akrilatnih polimera koji se tradicionalno koriste za izradu mikro i makro dentalnih kompozitnih materijala.

U okviru disertacije istražen je uporedni uticaj aluminijum oksidnih nanočestica i aluminijum oksidnih viskera ugrađenih u mehanička svojstva poli (metil metaakrilata). Ojačanja napravljena od aluminijum oksidnih čestica imaju sferičan oblik a viskersi imaju odnos dužina prema prečniku od 200. Uticaj veličine čestica, njihov oblik i udeo, na mehanička svojstva proučavani su pomoću nanoindentacionih merenja i dinamičko-mehaničke analize. Utvrđeno je da i čestice i viskersi poboljšavaju mehanička svojstva, ali poboljšanje je mnogo više izraženo u slučaju viskera. Koncentracija ojačavajućih čestica varirana je do 5 mas. %. Najbolja svojstva dobijena su dodatkom 3 mas. % viskera u pogledu mehaničkih svojstava dobijenog kompozita.

U posebnom poglavlju disertacije prikazani su rezultati istraživanja uticaja procesnih parametara elektropredenja na uniformnost, morfologiju, i sastav nanokompozitnih vlakana u obliku kompozitnog mata sepiolit-poli (vinil butiral). Suspenzija sepiolita ima tiksotropna svojstva zbog svoje vlaknaste prirode, velike specifične površine i prisustva silanolnih grupa na površini. Funkcionalizacija sepiolitnih vlakana urađena je u vodenom tiksotropnom gel stanju korišćenjem silana kao vezivnog agensa. Ispitano je ponašanje pri elektropredenju suspenzije tri različite koncentracije sepiolita (3 mas.%, 30 mas.% i 50 mas.%) u rastvoru poli (vinil butiral) u etanolu sa i bez modifikacije silanima vlakana sepiolita. Utvrđeno je da pod istim uslovima kompozitna vlakna sepiolit-poli (vinil butiral) imaju nižu vrednost srednjeg prečnika vlakana nego čista poli (vinil butiral) vlakna. Optimalni uslovi dobijanja najpravnomernijih nanokompozitnih vlakana se postižu pri protoku suspenzije od 0,5 mL/h, rastojanju dizne od kolektora 15 cm i naponu od 24 kV.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Iz Disertacije je do sada objavljeno dva rada: jedan u vrhunskom međunarodnom časopisu M21 i jedan rad u međunarodnom časopisu M23.

Kategorija M21 Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. **Ahmed Ben Hassan, S.**, Stojanović, D.B., Kojović, A., Janković-Častvan, I., Janačković, D., Uskoković, P.S., Aleksić, R.: Preparation and characterization of poly(vinyl butyral) electrospun nanocomposite fibers reinforced with ultrasonically functionalized sepiolite, - *Ceramics International*, vol. 40, no. 1 PART A, p.p. 1139-1146, 2014 (**IF=1.789**) (ISSN: 0272-8842).

Kategorija M23 Rad u međunarodnom časopisu

2. **Ahmed Ben Hassan, S.**, Dimitrijević M.M., Kojović A., Stojanović D.B., Obradović-Đuričić K., Jančić Heinemann R.M., Aleksić R.: The effect of alumina nanofillers size and shape on mechanical behavior of PMMA matrix composite, - *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2014, (**IF= 0.912**) (ISSN: 0352-5139) (DOI: 10.2298/JSC140121035B).

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Rezultati istraživanja u okviru doktorske disertacije kandidata Somaya Ahmed Ben Hassan doprinose povećanju nivoa znanja o strukturi i svojstvima hibridnih nanokompozitnih stomatoloških materijala i mogućnostima poboljšanja dizajniranja njihove strukture hibridizacijom oblika, veličine i udela ojačanja na nano i mikro skali uvođenjem nano i mikro polimernih kompozitnih materijala. Pregledom doktorske disertacije, Komisija je konstatovala da podneta doktorska disertacija ima sve neophodne sadržaje i da je napisana u skladu sa uobičajenim standardima. Izloženi materijal je sistematizovan i dobro organizovan. Predmet i ciljevi istraživanja su jasno navedeni, ostvareni rezultati i doprinos istraživanja su verifikovani kroz odgovarajući broj naučnih publikacija.

Komisija konstatuje da disertacija ispunjava sve zakonske, formalne i suštinske uslove, kao i sve kriterijume koji se primenjuju prilikom vrednovanja doktorske disertacije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Takođe je konstatovano da doktorska disertacija predstavlja originalni naučni doprinos u oblasti hemija i hemijska tehnologija. Imajući u vidu kvalitet i obim ostvarenih rezultata, kao i njihov naučni doprinos, Komisija pozitivno ocenjuje doktorsku disertaciju i predlaže Nastavno-naučnom Veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, da doktorsku disertaciju pod nazivom „Struktura i fizičko-mehanička svojstva stomatoloških hibridnih kompozitnih materijala” kandidata Somaya Ahmed Ben Hassan prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 14. 06. 2014. godine

ČLANOVI KOMISIJE

.....
Prof. dr Radoslav Aleksić,
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Petar Uskoković,
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Vesna Radojević,
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Radmila Jančić-Hajnemann,
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
Prof. dr Kosovka Obradović-Đuričić,
Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet