

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Vere Obradović za izradu doktorske disertacije

Odlukom br. 35/77 od 26. 02. 2015. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Vere Obradović za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „PROCESIRANJE I KARAKTERIZACIJA HIBRIDNIH NANOKOMPOZITNIH MATERIJALA POVEĆANE OTPORNOSTI NA UDAR”.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

REFERAT

1. PODACI O KANDIDATU

1.1. Biografski podaci

Vera M. Obradović, dipl. inženjer tehnologije, rođena je 10. 06. 1984. u Beogradu. Diplomirala je na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Hemijsko inženjerstvo, sa prosečnom ocenom 9,58. Za izuzetan uspeh na studijama u redovnom roku primila je diplome fonda „Panta S. Tutundžić“ u 2004., 2005., 2006. i 2008. godini, kao i specijalno priznanje Srpsko hemijskog društva. Diplomski rad sa temom „Uticaj termofizičkih parametara fluida na termohidraulički proračun razmenjivača toplote sa cevnom snopom i omotačem” odbranila je sa ocenom 10. Školske 2009/10 godine se upisala na doktorske studije na odseku za Inženjerstvo materijala i položila ispite predviđene programom sa prosečnom ocenom 10.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Vera Obradović je od 1.02.2011. godine zaposlena u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta. Angažovana je sa 12 istraživačkih meseci na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja pod nazivom „Sinteza, razvoj tehnologija dobijanja i primena nanostrukturnih multifunkcionalnih materijala definisanih svojstava“, sa evidencionim brojem III 45019. U zvanje istraživač pripravnik izabrana je maja 2011. godine, dok je u zvanje istraživač saradnik izabrana oktobra 2014.

Aktivno je učestvovala u eksperimentalnom radu pripreme i procesiranja *p*-aramidnih kompozita metodom elektropredenja iz rastvora, kao i metodom čestičnog ojačavanja aramidnih lamina, ispitivanjem otpornosti na udar pomoću impakt testera, modelovanjem sistema za simulaciju procesa na impakt testeru i njihovom karakterizacijom i primenom u balistici.

U okviru doktorskih studija položila je sve ispite predviđene planom i programom, uključujući i završni ispit (sa naslovom Analiza stabilnosti elektrospining procesa), postigavši sledeće ocene:

Predmet	Ocena	ESPB
1. Matematička obrada eksperimentalnih podataka	10	5
2. Hemijska kinetika	10	5
3. Termodinamika čvrstog stanja	10	5
4. Nauka o materijalima i inženjerstvo materijala	10	6
5. Fizičko-mehanička ispitivanja materijala - viši kurs	10	4
6. Struktura i svojstva kompozitnih materijala	10	5
7. Procesiranje i rast monokristala za opto i mikroelektroniku	10	4
8. Materijali sa specifičnim električnim, toplotnim, magnetnim i optičkim svojstvima	10	4
9. Kvantifikacija vizuelnih informacija u ispitivanju materijala	10	4
10. Metal, ugljenični i keramički kompoziti	10	3
11. Biokompozitni materijali	10	4
12. Mehanika laminarnih kompozitnih ploča i ljuski	10	3
13. Završni ispit	10	30

Objavljeni naučni radovi i saopštenja:

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu - M 21:

1. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Živković I., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Dynamic Mechanical and Impact Properties of Composites Reinforced with Carbon Nanotubes, Fibers and Polymers*, Vol 16, No 1, 2015, pp. 138-145 (ISSN: 1229-9197; 2013, 6/22, Materials Science, Textiles, IF 1.113).

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu - M22:

1. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Jančić-Heinemann R., Živković I., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Ballistic Properties of Hybrid Thermoplastic Composites with Silica Nanoparticles*, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol 9, No 4, 2014, pp. 97-107 (ISSN: 1558-9250, 2013, 9/22, Materials Science, Textiles, IF 0.778).

Rad u međunarodnom časopisu - M 23:

1. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Kojović A., Živković I., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Electrospun Poly(vinylbutyral)/silica Composite Fibres for Impregnation of Aramid Fabrics*, Materiale Plastice, Vol 51, No 3, 2014, pp. 319-322 (ISSN: 0025-5289, 2013, 220/251, Materials Science, Multidisciplinary, IF 0.463).

Rad u časopisu međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom - M24:

1. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Živković I., Uskoković P. S., Aleksić R., *Dynamic mechanical properties of aramid fabrics impregnated with multiwalled carbon nanotubes*, Zaštita materijala (Materials Protection), Vol 14, No 2, 2013, pp. 141-145, ISSN: 0351-9465.

2. **Obradović V.**, Stojanović D., Kojović A., Živković I., Radojević V., Uskoković P., Aleksić R., *Aramid composites impregnated with different reinforcement: nanofibers, nanoparticles and nanotubes*, Zaštita materijala (Materials Protection), Vol 15, No 4, 2014, pp. 351-361, ISSN: 0351-9465.

Rad u časopisu nacionalnog značaja - M 51:

1. **Obradović V.**, Kojović A., Stojanović D. B., Nikolić N., Živković I., Uskoković P., Aleksić R., *The Analysis of Forming PVB-SiO₂ Nanocomposite Fibers by the Electrospinning Process*, Scientific Technical Review, Vol 61, No 3-4, 2011, pp. 34-38, ISSN: 1820-0206.

2. **Obradović V.**, Stojanović D., Grković M., Živković I., Radojević V., Uskoković P., Aleksić R., *Dynamic Mechanical Properties of Aramid Fabrics Impregnated with Carbon nanotube/Poly (Vinyl Butyral)/Ethanol Solution*, Metallurgical & Materials Engineering, Vol 19, No 3, 2013, pp. 259-266, ISSN: 2217-8961.

Rad u naučnom časopisu - M 53:

1. **Obradović V.**, *Elektrospining tehnologija*, Hemijski pregled, Vol 53, No 2, 2012, str. 41-47, ISSN: 0440-6826.

Rad saopšten na skupu međunarodnog značaja štampan u celini - M 33:

1. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Živković I., Jančić Hajneman R., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Ballistic resistance of nanomodified hybrid thermoplastic composites*, Proceedings of the 5th International Scientific Conference OTEH 2012 on Defensive Technologies, Belgrade, 2012, pp. 301-304, ISBN: 978-86-81123-58-4.

2. **Obradović V.**, Stojanović D., Grković M., Živković I., Radojević V., Uskoković P., Aleksić R., *Dynamic Mechanical Properties of Aramid Fabrics Impregnated with Carbon nanotube/Poly (Vinyl Butyral)/Ethanol Solution*, Proceedings & Book of Abstracts, 1st MME SEE 2013, Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, 2013, pp. 406-413, ISBN: 987-86-87183-24-7.

Rad saopšten na skupu međunarodnog značaja štampan u izvodu - M 34:

1. **Obradović V.**, Stojanović D., Kojović A., Živković I., Jančić Hajneman R., Uskoković P., Aleksić R., *The analysis of stability of the electrospinning process of forming PVB-SiO₂ nanocomposite fibers*, The Book of Abstracts of the Thirteenth Annual Conference YUCOMAT, Herceg Novi, 2011, pp. 143.

2. **Obradović V.**, Nikolić N. D., Stojanović D., Kojović A., Živković I., Uskoković P., Aleksić R., *Deposition of the electrospun PVB-SiO₂ fibers onto the aramid fabrics*, The Book of Abstracts of 2nd International Workshop, Belgrade, 2011, pp. 57, ISBN: 978-86-7401-278-9.

3. **Obradović V.**, Kojović A., Stojanović D. B., Nikolić N. D., Živković I., Uskoković P. S., Aleksić R., *Electrospun PVB-SiO₂ composite fibers: morphology, properties and ballistic applications*, The Book of Abstracts of the Tenth Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Belgrade, 2011, pp. 39, ISBN: 978-86-80321-27-1.

4. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Zrilić M., Živković I., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Mechanical properties of hybrid thermoplastic impregnated aramid fabrics with multiwalled carbon nanotubes*, The Book of Abstracts of the First International Conference-Processing, Characterization and Application of Nanostructured

Materials and Nanotechnology-NanoBelgrade 2012, Belgrade, 2012, pp. 86, ISBN: 978-86-7401-285-7.

5. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Kojović A., Živković I., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Dynamic mechanical thermal properties of hybrid thermoplastic impregnated aramid fabrics with silica nanoparticles*, The Book of Abstracts of the First International Conference-Processing, Characterization and Application of Nanostructured Materials and Nanotechnology-NanoBelgrade 2012, Belgrade, 2012, pp. 87, ISBN: 978-86-7401-285-7.

6. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Trifunović D. D., Živković I., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Instrumented Impact Testing of Hybrid Thermoplastic Aramid Fabrics Reinforced with Carbon Nanotubes*, The Book of Abstracts of the Fifteenth Annual Conference YUCOMAT, Herceg Novi, 2013, pp. 114.

7. **Obradović V.**, Stojanović D. B., Jančić - Heinemann R., Živković I., Radojević V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Ballistic Test of Silica Nanoparticles Reinforced Thermoplastic Composites*, Abstract Book, Slonano Conference, Ljubljana, 2013, pp. 72.

8. **Obradović V.**, Stojanović D., Petrović M., Živković I., Radojević V., Uskoković P., Aleksić R., *Impact testing of hybrid thermoplastic aramid fabrics with different kinds of reinforcement*, The Book of Abstracts of the Sixteenth Annual Conference YUCOMAT, Herceg Novi, 2014, pp. 102.

9. **Obradović V.**, Stojanović D., Petrović M., Živković I., Radojević V., Uskoković P., Aleksić R., *Impact testing of kolon p-aramid fabrics with various types of reinforcement*, The Book of Abstracts of the Thirteenth Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Belgrade, 2014, pp. 31, ISBN: 978-86-80321-30-1.

Rad saopšten na skupu nacionalnog značaja štampan u celini - M 63:

1. **Obradović V.**, Stojanović D., Kojović A., Radojević V., Živković I., Uskoković P., Aleksić R., *Uticaj procesnih parametara na formiranje strukture PVB-SiO₂ nanokompozitnih vlakana*, Zbornik radova sa Savetovanja Napredni materijali i njihove primene, Požarevac, 2011, str. 56-63, ISBN: 978-86-911159-2-0.

2. **Obradović V.**, Stojanović D., Živković I., Jančić Hajneman R., Radojević V., Uskoković P., Aleksić R., *Balistička svojstva impregniranih aramidnih tkanina sa silika nanočesticama*, Zbornik radova sa Savetovanja Primena savremenih materijala u tehnologijama i konstrukcijama, Požarevac, 2012, str. 46-54, ISBN: 978-86-911159-3-7.

Tehnička i razvojna rešenja:

M82: Nova proizvodna linija, novi materijal, industrijski prototip, novo prihvaćeno rešenje problema u oblasti makroekonomskog, socijalnog i problema održivog prostornog razvoja uvedeni u proizvodnju

1. Aleksić R., Stojanović D., Uskoković P., Živković I., Kojović A., **Obradović V.**, Radojević V., Zrilić M., *Funkcionalno gradijentni nanokompozitni hibridni materijali povećane otpornosti na udar*, Projekat MPNRS Razvoj opreme i procesa dobijanja

polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima, Evidencioni broj 34011, Korisnik ULTRATEX, doo, Šabac, 2011.

2. Aleksić R., **Obradović V.**, Stojanović D., Živković I., Uskoković P., Radojević V., Mitraković D., Trifunović D., Petrović M., *Balistički hibridni termoplastični kompoziti ojačani ugljeničnim nanocevima*, Projekat MPNRS Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima, Evidencioni broj 34011, Korisnik Ultrateks, Šabac, Oblast na koju se tehničko i razvojno rešenje odnosi: materijali i hemijske tehnologije, 2013.

3. Aleksić R., Stojanović D., **Obradović V.**, Živković I., Uskoković P., Radojević V., Jančić-Hajneman R., Zrilić M., Trifunović D., *Balistički hibridni termoplastični kompoziti ojačani nanočesticama silike*, Projekat MPNRS Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima, Evidencioni broj 34011, Korisnik Ultrateks, Šabac, Oblast na koju se tehničko i razvojno rešenje odnosi: materijali i hemijske tehnologije, 2013.

M83: Novo laboratorijsko postrojenje, novo eksperimentalno postrojenje, novi tehnološki postupak

1. Aleksić R., Stojanović D., Uskoković P., **Obradović V.**, Kojović A., Radojević V., Živković I., *Uređaj za dobijanje nanokompozitnih funkcionalnih vlakana*, Projekat MPNRS Razvoj opreme i procesa dobijanja polimernih kompozitnih materijala sa unapred definisanim funkcionalnim svojstvima, Evidencioni broj 34011, Korisnik ULTRATEX, doo, Šabac, 2011.

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i pokazanih rezultata tokom doktorskih studija i u okviru naučnoistraživačkog rada, diplomirani inženjer tehnologije Vera Obradović je pokazala izuzetnu sklonost i sposobnost za bavljenje naučno-istraživačkim radom. Iz same predložene teme disertacije, kandidat je do sada objavio tri rada u međunarodnim časopisima sa SCI liste gde je bio prvi autor i 13 saopštenja na međunarodnim (11) i nacionalnim skupovima (2). Na osnovu svega do sada izloženog Komisija zaključuje da kandidat ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Materijal u vidu tkanina koje se proizvode od vlakana velike žilavosti se koristi u antibalističkoj zaštiti zbog svoje male gustine, velike otpornosti i velikog kapaciteta apsorpcije. Ova svojstva su izuzetno važna kod interakcije metak-tkanina koja predstavlja jako složen fenomen. Poslednjih godina se *p*-aramidne tkanine u velikoj meri upotrebljavaju pri izradi različitih kompozitnih struktura kod zaštitne opreme za telo. Njihove izvanredne mehaničke osobine potiču od dugačkih, pravih poli(parafenilen tereftalamid) vlakana. Ove tkanine (lamine) se sastoje od *p*-aramidnih vlakana čiji je odnos čvrstoće prema težini pet puta veći u odnosu na čelik iste mase. Odlikuje ih velika

termička otpornost. Pored njihove primene u balistici, oni se koriste i pri proizvodnji kompozita, creva, guma, i proizvoda sa toplotnom zaštitom.

Povećanje modula ili čvrstoće polimera se postiže dodavanjem ojačanja. Različiti parametri ojačanja se uzimaju u obzir pri njihovom odabiru za uspešnu realizaciju u kompozitu. U njih se ubrajaju: veličina ojačanja (čestica), njihova geometrija, orijentacija, čvrstoća, disperzija, odnos dužine i širine (poželjna je velika vrednost ovog odnosa) i jačina veze ojačanje-matrica. Interakcije između ojačanja i polimerne matrice su važne zbog poboljšanja disperzije ojačanja i njihove adhezije na polimernu matricu, što povećava efektu zapreminu i stvara transfer opterećenja od matrice ka ojačanju kada je materijal izložen mehaničkoj deformaciji.

Keramika se, zbog svojih svojstava, često koristi za ojačavanje zaštitne opreme (odeće) za telo. Time se postiže fleksibilnost i mala težina cele zaštitne strukture. Pri dodatku nanočestica keramike polimernim matricama, unapređuju se njihove mehaničke osobine u odnosu na čiste matrice zaštitne odeće. U okviru keramike nanosilika predstavlja jedan od vodećih nanopunioca koji se koriste u polimernim kompozitima. Silika (SiO_2) nanočestice karakterišu njihova velika specifična površina. Kako dolazi do uzajamne aglomeracije nanočestica, agensi u vidu silana se koriste za modifikaciju površine nanosilike zbog njihove uspešne disperzije i deaglomeracije, kao i radi formiranja hemijskih veza između njih i organskih komponenata.

Ugljenične nanocevi (Carbon nanotubes – CNT) predstavljaju odličan izbor kod odabira punioca za polimerne kompozite zbog njihovog velikog odnosa dužina/prečnik (koji može biti i do 132000000), velike čvrstoće, malih dimenzija, male mase i gustine, i velike provodljivosti. One mogu biti jednoslojne (single walled carbon nanotubes – SWCNT) i višeslojne (multi walled carbon nanotubes – MWCNT) ugljenične nanocevi. U čistom obliku, nanocevi uglavnom nisu dobro dispergovane u polimernim matricama zbog jakih Van der Valsovih sila privlačenja između njih koje stvaraju njihovu agregaciju. Mala količina CNT u polimernim matricama je bolje rasejana i modul je povećan. Nasuprot tome, kada je količina CNT velika, nanocevi reaguju i formiraju male agregate koji smanjuju međusobni kontakt za prenos napona u polimernoj matrici. Kako bi se sprečila aglomeracija zbog prisustva Van der Valsovih sila, kompatibilnost sa polimernom matricom se postiže hemijskom modifikacijom nanocevi sa rastvaračima, surfaktantima, jakim kiselinama, nekovalentnim i kovalentnim vezivanjem i drugim hemijskim metodama. Ukoliko adhezione veze između nanocevi i matrice nisu dovoljno jake, tada se njihova površina podvrgava hemijskoj modifikaciji.

U ovom istraživanju će se elektrospinovala vlakna, silika nanočestice i ugljenične nanocevi koristiti kao ojačanja koja bi unapredila mehanička svojstva materijala za antibalističku zaštitu. Uzorci poliuretan/*p*-aramidnih multiaksijalnih lamina (Twaron i Kolon lamine) će biti impregnirani sa poli(vinil butiral)(PVB)/etanol rastvorom sa različitim sadržajem ojačanja. Radi poboljšanja mehaničkih, balističkih svojstava i povećanja apsorbovane energije udara, modifikovaće se površina lamina sa γ -aminopropiltrietsilanolom (AMEO silan)/etanol rastvorom i koristiće se silika nanočestice modifikovane AMEO silanom.

Planirano je modelovanje sistema za simulaciju procesa na impakt testeru. Model bi se radio metodom konačnih elemenata u ABAQUS programskom paketu sa uzorkom *p*-aramidne lamine.

Cilj istraživanja u okviru ove doktorske teze je poboljšanje mehaničkih i termičkih svojstava *p*-aramidnih lamina površinskom modifikacijom i dodatkom nanoojačanja.

Literatura

1. Reneker H., Chun I., *Nanometre diameter fibres of polymer, produced by electrospinning*, Nanotechnology, Vol 7, 1996, pp. 216-223.
2. Zhang C., Yuan X., Wu L., Han Y., Sheng J., *Study on morphology of electrospun poly (vinyl alcohol) mats*, European Polymer Journal 41, 2005, 423-432.
3. Garg K., Bowlin G. L., *Electrospinning jets and nanofibrous structures*, Biomicrofluids 5, 2011, 013403.
4. Schueren L. V., Schoenmaker B. D., Kalaoglu O. I., Clerck K. D., *An alternative solvent system for the steady state electrospinning of polycaprolactone*, European Polymer Journal, Vol 47, 2011, pp. 1256-1263.
5. Chuang Y.-J., Liao J.-D., Chen L.-J., *Polyvinylbutyral-assisted synthesis and characterization of mesoporous silica nanofibers by electrospinning route*, Journal of Composite Materials, Vol 46, 2012, pp. 227-236.
6. Chen L. -J., Liao J.-D., Lin S. -J., Chuang Y.-J., Fu Y.-S., *Synthesis and characterization of PVB/silica nanofibers by electrospinning process*, Polymer, Vol 50, 2009, pp. 3516-3521.
7. Hahn C., *Characteristics of p-Aramid Fibers in Friction and Sealing Materials*, Journal of Industrial Textiles, Vol 30, 2000, pp. 146-165.
8. Ultracki L. A., *In Rigid ballistic composites*, NRC Publications Archive: Canada, 2010, p. 45
9. Decker M. J., Halbach C. J., Nam C. H., Wagner N. J., Wetzel E. D., *Stab resistance of shear thickening fluid (STF)-treated fabrics*, Composites Science and Technology, Vol 67, 2007, pp. 565-578.
10. Torki M., Stojanović D. B., Živković I. D., Marinković A., Škapin S. D., Uskoković P. S., Aleksić R. R., *The viscoelastic properties of modified thermoplastic impregnated multi-axial aramid fabrics*, Polymer Composites, Vol 33, 2012, pp. 158-168.
11. Bhardwaj N., Kundu S. C., *Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique*, Biotechnology Advances, Vol 28, 2010, pp. 325-347.
12. Teo W., Ramakrishna S., *Electrospun nanofibers as a platform for multifunctional, hierarchically organized nanocomposite*, Composites Science and Technology, Vol 69, 2009, pp. 1804-1817.
13. Mortas N., Er O., Reis P. N. B., Ferreira J. A. M., *Effect of corrosive solutions on composites laminates subjected to low velocity impact loading*, Composite Structures, Vol 108, 2014, pp. 205-211.
14. Reis P. N. B., Ferreira J. A. M., Santos P., Richardson M. O. W., Santos J. B., *Impact response of Kevlar composites with filled epoxy matrix*, Composite Structures, Vol 94, 2012, pp. 3520-3528.

15. Karahan M., Kus A., Eren R., *An investigation into ballistic performance and energy absorption capabilities of woven aramid fabrics*, International Journal of Impact Engineering, Vol 35, 2008, pp. 499-510.
16. Aleksić R., Živković I., *Dinamičko-mehanička svojstva balističkih kompozitnih materijala*, TMF, Beograd, 2009.
17. Mahfuz H., Clements F., Rangari V., Dhanak V., Beamson G., *Enhanced stab resistance of armor composites with functionalized silica nanoparticles*, Journal of Applied Physics, Vol 105, 2009, 064307.
18. Stojanović D., Orlović A., Glišić S. B., Marković S., Radmilović V., Uskoković P. S., Aleksić R., *Preparation of MEMO silane-coated SiO₂ nanoparticles under high pressure of carbon dioxide and ethanol*, The Journal of Supercritical Fluids, Vol 52, 2010, pp. 276-284.
19. de Moraes W. A., Monteiro S. N., d'Almeida J. R. M., *Effect of the laminate thickness on the composite strength to repeated low energy impacts*, Composite Structures, Vol 70, 2005, pp. 223-228.
20. Padaki N. V., Alagirusamy R., Deopura B. L., Sugun B. S., Figueiro R., *Low velocity impact behaviour of textile reinforced composites*, Indian Journal of Fibre and Textile Research, Vol 33, 2008, pp. 189-202.
21. Prabhakar C., Bala Krishna K., *A review on carbon nanotubes*, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, Vol 2, 2011, pp. 850-854.
22. Terrones M., *Science and Technology of the Twenty-First Century: Synthesis, Properties, and Applications of Carbon Nanotubes*, Annual Review of Materials Research, Vol 33, 2003, pp. 419-501.

3. POLAZNE HIPOTEZE

- Ispitivanje morfologije elektrospinovalanih vlakana i strukture pomoću skenirajuće elektronske mikroskopije i optičke mikroskopije koji ukazuju na promene procesnih parametara elektrospininga
- Povećanje modula skladištenja *p*-aramidnih kompozita dodatkom SiO₂ nanočestica
- Povećanje modula skladištenja *p*-aramidnih kompozita dodatkom ugljeničnih nanocevi
- Povećanje modula skladištenja impregnisanjem *p*-aramidnih lamina sa AMEO silanom
- Rezultati testiranja udarima kontrolisane energije koji ukazuju na povećanje udarne sile i apsorbovane energije nakon dodatka nanoojačanja (SiO₂ i MWCNT) i hemijske modifikacije površina *p*-aramidnih lamina AMEO silanom
- Poboljšanje mehaničkih svojstava *p*-aramidnih kompozita dodatkom nanoojačanja i proizvodnja sistema bolje antibalističke zaštite

4. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

4.1 Metode rada

- Elektrospining (elektropredenje)

U ovom istraživanju će se PVB-SiO₂ nanovlakna dobijati ovim procesom na Electrospinner CH-01 (Linari Engineering) uređaju.

- Balističko testiranje

U ovom istraživanju će balističkom testiranju biti podvrgnuti uzorci višeslojnih aramidnih lamina koji će biti ojačani velikom koncentracijom silika nanočestica. Testovi će biti izvedeni u skladu sa NIJ 0101.04 standardom, upotrebom uređaja SABRE ballistics UK Integrated Range Instrument System (IRIS). Dve vrste metka će se koristiti u testiranju: 357 Magnum FMJ 10.2g i 44 Rem. Magnum JHP 15.6 g, pri čemu su njihove nominalne mase 10.2g i 15.6g redom. U svaki uzorak će se pucati sa četiri 357 Magnum metka i jednim 44 Rem. Magnum metkom.

- Testiranje udarima kontrolisane energije

U ovom istraživanju će se ispitivati otpornost na udar jednoslojnih i višeslojnih *p*-aramidnih lamina koje će biti čiste ili ojačane silika nanočesticama ili ugljeničnim nanocevima sa različitim koncentracijama. Ispitivanja će se izvoditi na impakt tester uređaju velikih brzina Hydroshot HITS-P10, proizvođača Shimadzu Corporation, sa brzinama do 20 m/s i temperaturnom opsegu od - 40 °C do 150 °C.

4.2 Metode karakterizacije

- Dinamičko-mehanička analiza (DMA)
- Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) i optička mikroskopija
- Furijeova transformaciona infracrvena spektroskopija (FTIR)
- Diferencijalna skenirajuća kalorimetrija (DSC)
- Obrada rezultata u Image Pro-Plus programskom paketu

5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

U ovom istraživanju se očekuje sledeći naučni doprinos:

- Poboljšanje mehaničkih svojstava materijala za antibalističku zaštitu (*p*-aramidnih lamina) dodatkom elektrospinovalanih vlakana
- Poboljšanje mehaničkih svojstava materijala za antibalističku zaštitu (*p*-aramidnih lamina) dodatkom silika nanočestica i ugljeničnih nanocevi koji se koriste kao ojačanja, pri čemu će uzorci poliuretan/*p*-aramidnih multiaksijalnih lamina (Twaron i Kolon lamine) biti impregnirani sa poli(vinil butiral)(PVB)/etanol rastvorom sa različitim sadržajem ojačanja (različiti odnos ojačanja u odnosu na PVB)
- poboljšanje mehaničkih, balističkih svojstava i povećanje apsorbovane energije *p*-aramidnih kompozita, modifikacijom površina *p*-aramidnih lamina sa γ -aminopropiltriethoxysilanom (AMEO silan)/etanol rastvorom pri čemu će se koristiti i silika nanočestice modifikovane AMEO silanom
- Uspostavljanje korelacije između procesnih parametara i postignutih mehaničkih svojstava dobijenih materijala

Na ovaj način će biti moguće dizajnirati napredne antibalističke materijale sa unapred definisanim svojstvima. Kao ishod ovih naučnih rezultata i tehničkih rešenja očekuju se i primena u realnim proizvodima u saradnji sa privredom.

6. PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Rad će biti podeljen na tri dela istraživanja: proces elektrospininga, balističko testiranje *p*-aramidnih kompozita i testiranje udarima kontrolisane energije Kolon kompozita. Nabrojane metode karakterizacije će se koristiti za analizu svojstava dobijenih kompozitnih materijala.

U doktorskoj disertaciji će biti obrađena sledeća poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak* i *Literatura*.

U *Uvodu* će biti definisan predmet rada, istaknut značaj istraživanja, cilj rada, doprinos i aktuelnost istraživanja.

U *Teorijskom delu* će biti detaljno opisan značaj tkanina koje su proizvedene od vlakana *p*-aramidnog tipa velike zatezne čvrstoće koje se koriste u antibalističkoj zaštiti. Posle ovoga će biti predstavljen značaj elektrospining tehnologije i sam proces elektrospininga sa uticajem različitih parametara koji se dele na parametre rastvora, procesne parametre i ambijentalne parametre. Biće opisani balistički testovi (izvedeni u skladu sa NIJ 0101.04 standardom). Na kraju će biti prikazan značaj testiranja materijala pomoću impakt testera kod koga se meri otpornost jednoslojnih i višeslojnih *p*-aramidnih kompozitnih lamina.

U *Eksperimentalnom delu* će biti opisan proces pripreme *p*-aramidnih kompozita, kao i opis opreme za karakterizaciju.

Rezultati i diskusija će biti podeljeni na tri dela shodno podeli istraživanja: proces elektrospininga, balističko testiranje *p*-aramidnih kompozita i testiranje udarima kontrolisane energije Kolon kompozita. Na osnovu nabrojanih metoda karakterizacije (DMA, DSC, SEM, FTIR, Image Pro-Plus) biće naveden kompletan pregled rezultata koji su proizvedeni tim metodama.

U *Zaključku* će biti sumirani dobijeni rezultati izvedeni na osnovu prikazanih istraživanja i predstavljene moguće primene sintetisanih materijala.

Literatura će sadržati navode citirane u disertaciji kao i radove koji su proistekli istraživanjem u okviru ove doktorke disertacije.

7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu izloženog Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije „PROCESIRANJE I KARAKTERIZACIJA HIBRIDNIH NANOKOMPOZITNIH MATERIJALA POVEĆANE OTPORNOSTI NA UDAR“ kandidata Vere Obradović, diplomiranog inženjera, naučno zasnovana i predlaže Nastavnom-naučnom veću da je prihvati. Za mentora se predlaže Prof. Dr Petar Uskoković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo i užoj naučnoj oblasti Inženjerstvo materijala za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 30. 03. 2015. godine

ČLANOVI KOMISIJE

.....
1. Prof. dr Petar Uskoković, red. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
2. Prof. dr Vesna Radojević, van. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
3. Prof. dr Đorđe Janačković, red. prof.
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
4. Dr Dušica Stojanović, naučni saradnik
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
5. Dr Irena Živković, docent
Univerziteta Umetnosti u Beogradu, Fakultet primenjenih umetnosti