

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

Бр. 01-1/1584

8.05 2017 год.

КРАГУЈЕВАЦ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Предмет: Извештај Комисије за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж.

Одлуком Већа за Техничко - технолошке науке, Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-379/20 од 12.04.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж. под насловом:

"Триболошка карактеризација напредних стоматолошких материјала"

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја о подобности кандидата и теме за докторску дисертацију, која је одобрена за израду одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, бр. 01-1/885-13 од 20.03.2014. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж., под насловом **"Триболошка карактеризација напредних стоматолошких материјала"**, представља резултат научноистраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на теоријско-експериментално истраживање процеса трења и хабања стоматолошких безметалних система на бази стакло керамике и цирконијума, при различитим завршним обрадама. С обзиром на дате теоријске основе, лабораторијска испитивања и добијене резултате, ова дисертација представља оригинални научни рад кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж. Кандидат је најпре детаљно анализирао и систематизовао постојећа сазнања из ове области, а затим извео бројна трибометријска испитивања и најзад дошао до научно заснованих закључака.

Кандидат је у оквиру докторске дисертације испитао четири групе комерцијалних материјала на бази безметалних керамичких система, који представљају тренутно најновије материјале у данашњој естетској стоматологији: леуцит (*IPS Empress CAD*),

литијум дисиликат (*IPS e.max CAD*), фасетна керамика (*IPS e.max Ceram*) и цирконијум (*IPS e.max ZirCAD*). Сви материјали су третирани различитим завршним обрадама које често присутне у пракси: полирањем, глазирањем и брушењем. Карактеристике које одликују ове материјале су дуготрајност, висока чврстоћа, потпуна биокомпатибилност, непостојање алергије на овај материјал, непостојање биметализма код безметалних рестаурација (стварање струје ниског напона између два метала, нпр. између металокерамичке крунице и амалгамске пломбе), потпуна безметална конструкција и одлична естетика.

Кандидат је извршио систематизацију и извео критичку анализу постојећих знања, као и релевантних научних резултата који се односе на област истраживања докторске дисертације.

На основу спроведене анализе кандидат је дефинисао предмет и циљ сопствених истраживања и извршио бројна испитивања како механичких, тако и триболошких карактеристика претходно поменутих безметалних система. Услови испитивања и план експеримента су дефинисани у складу са актуелним трендовима на основу прегледа литературе и расположивости лабораторијских уређаја.

Резултати добијени током истраживања у оквиру израде докторске дисертације пружају релевантне податке и вредне информације о утицају различитих завршних обрада на механичке карактеристике и брзине клизања и нормалног оптерећења на триболошко понашање испитиваних материјала. Такође, овом дисертацијом је у великој мери умањен недостатак домаће литературе из области трибологије стоматолошких материјала на бази безметалне керамике.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж., под насловом "**Триболошка карактеризација напредних стоматолошких материјала**", представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој примењених наука у области теоријског и експерименталног истраживања трибологије у области стоматолошких материјала. Кандидат је стекао велико искуство у извођењу механичких и триболошких испитивања материјала лабораторијским радом и дугогодишњем ангажовању на предметима Основи трибологије и Машинским елементима. Будући да је на практичном нивоу познавао већину метода испитивања механичких и триболошких карактеристика материјала, успео је да добијене резултате повеже и образложи одговарајућим законитостима.

Кандидат је детаљно и студиозно, у складу са научним принципима, реализовао веома обимна експериментална испитивања механичких и триболошких карактеристика стоматолошких безметалних система на бази стакло керамике и цирконијума, при различитим завршним обрадама (полирање, глазирање и брушење). Испитивањима су добијени резултати микро/нано мерења тврдоће, при чему су приликом поступка нано утискивања добијене и вредности модула еластичности површинских слојева материјала. Триболошка испитивања су изведена са циљем одређивања зависности триболошких феномена трења и хабања од промене контактних параметара, брзине клизања и нормалног оптерећења. Детаљном анализом добијених трагова хабања путем оптичког микроскопа, скенирајућег електронског микроскопа и уређаја за енергетско дисперзивну анализу, кандидат је, применом досад стечених

знања и познавањем актуелног стања из области испитивања стоматолошких материјала, одредио доминантне механизме хабања. Овим анализама успешно је дефинисан процес одвијања хабања.

На основу свеобухватне и критичке анализе научних знања из ове области, дефинисан је начин и методологија испитивања утицаја различитих завршних обрада на механичке карактеристике, а затим и њихов утицај на триболошко понашање безметалних система на бази стакло керамике и цирконијума. Оригиналноста научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру ове дисертације огледа се, између осталог, и у следећим елементима:

- Дефинисана је методологија површинске карактеризације уз помоћ АФМ анализе у виду одређивања параметара храпавости, 3D топографија и профила храпавости површина код свих завршних обрада материјала;
- Дефинисана је методологија испитивања механичких карактеристика свих материјала применом технике нано утискивања;
- Дефинисан је утицај полиране, глазиране и брушене завршне обраде на механичке и триболошке карактеристике испитиваних материјала;
- Дефинисан је утицај контактних параметара на триболошке феномене, трење и хабање;
- Анализом трагова хабања дефинисани су доминантни механизми хабања и услови под којим они настају;
- Истраживачким резултатима употпуњена су научна сазнања о триболошким карактеристикама безметалних система на бази стакло керамике и цирконијума, при различитим завршним обрадама.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одговарајућој научној области

Марко Пантић је рођен 19.11.1982. године у Крагујевцу, где и данас живи. Ожењен је и има двоје деце. Завршио је основну школу „Свети Сава“ у Баточини са одличним успехом. Средње образовање је стекао у „Првој Техничкој школи“ у Крагујевцу са одличним успехом као дипломирани електротехничар енергетике.

Машински факултет у Крагујевцу уписао је школске 2001/2002. године. Факултет је завршио 2008. године на смеру за Производно машинство и индустријски инжењеринг, оценом 10 (десет) на дипломском испиту из предмета ЦИМ системи и просечном оценом у току студија 7,58. Докторске студије на Машинском факултету у Крагујевцу уписао је школске 2009/2010. Године на смеру Производно машинство. Положио је све предвиђене испите са просечном оценом 9.66 и стекао услов за израду докторске тезе под насловом *"Триболошка карактеризација напредних стоматолошких материјала"*.

Професионалну каријеру започео је 2009. године као сарадника на Темпус пројекту на Машинском факултету у Центру за виртуалну производњу, да би 2011. године каријеру је наставио у Центру за Трибологију као истраживач-сарадник, а статус истраживача-сарадника на Машинском факултету у Крагујевцу добио је у 2011. години.

Активно учествује у извођењу вежби из следећих предмета:

- Техничко цртање са компјутерском графиком,

- Машински елементи,
- Основи трибологије.

Марко Пантић, као аутор или коаутор, објавио је укупно 30 радова у научно – стручним часописима и на међународним научно – стручним скуповима. Осам радова је објављено на SCI листи, један рад категорије M21 и седам радова категорије M23. Технички уредник је у научном часопису „Tribology in Industry“ категорије M24 чији је издавач Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, као и зборника радова са конференције SERBIATRIB '13 и SERBIATRIB '17. Кандидат је члан Српског триболошког друштва од 2011. године и Комисије за промоцију факултета од 2012. године.

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. S. Mitrovic, D. Adamovic, F. Zivic, D. Dzunic, **M. Pantic**: “Friction and wear behavior of shot peened surfaces of 36CrNiMo4 and 36NiCrMo16 alloyed steels under dry and lubricated contact conditions”, Applied Surface Science, Vol. 290, pp. 223-232, ISSN 0169-4332, Doi: 10.1016/j.apsusc.2013.11.050, 2014.

Рад у међународном часопису (M23)

2. S. Mitrovic, D. Adamovic, F. Zivic, D. Dzunic, **M. Pantic**, D. Jevremović: “Dry Sliding Wear Behavior of PVD TiN Coatings for Cold Forming Tools”, Journal of Balkan tribological association, Vol. 22, No. 1, pp. 347-355, ISSN 1310-4772, 2016.
3. B. Jeremic, D. Vukelic, P. Todorovic, I. Macuzic, **M. Pantic**, D. Dzunic, B. Tadic: “Static Friction at High Contact Temperatures and Low Contact Pressure”, Journal of Friction and Wear, Vol. 34, No. 2, pp. 114-119, ISSN 1068-3666, 2013.
4. D. Vukelic, D. Miljanic, S. Randjelovic, I. Budak, D. Dzunic, M. Eric, **M. Pantic**: “A Burnishing Process Based on the Optimal Depth of Workpiece Penetration”, Materiali in Tehnologije, Vol. 47, No. 1, pp. 43–51, ISSN 1580-2949, 2013.
5. B. Stojanovic, M. Babic, S. Mitrovic, A. Vencl, N. Miloradovic, **M. Pantic**: “Tribological Characteristics of Aluminium Hybrid Composites Reinforced with Silicon Carbide and Graphite. A Review”, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 19, No. 1, pp. 83-96, ISSN 1310-4772, 2013.
6. F. Zivic, M. Babic, D. Adamovic, S. Mitrovic, P. Todorovic, G. Favaro, **M. Pantic**: "Influence of the Surface Roughness on Adhesion of Chrome Coatings on Alloy Tool Steel X165CrMoV12", Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 18, No. 2, pp. 228–237, ISSN 1310-4772, 2012.
7. S. Mitrović, M. Babic, F. Zivic, I. Bobic, M. Eric, D. Dzunic, **M. Pantic**: “Influence of Al₂O₃ Particle Content on the Sliding Wear Behaviour of ZA-27 Alloy Composites”, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 18, No. 4, pp. 548-558 , ISSN 1310-4772, 2012.
8. M. Babic, D. Adamovic, S. Mitrovic, F. Zivic, M. Eric, D. Dzunic, **M. Pantic**: “Wear Properties Of Shot Peened Surfaces Of 36NiCrMo16 Alloyed Steels Under Lubricated Condition”, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.18, No.4, pp.566-576, ISSN 1310-4772, 2012.

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

9. **M. Pantić**, S. Mitrović, M. Babić, D. Jevremović, T. Kanjevac, D. Džunić, D. Adamović, “AFM Surface Roughness and Topography Analysis of Lithium Disilicate Glass Ceramic”, Tribology in Industry, Vol.37, No.4, pp. 391-399, ISSN 0354-8996, 2015.
10. D. Džunić, S. Mitrović, M. Babić, I. Bobić, **M. Pantić**, D. Adamović, B. Nedeljković, “Nanoindentation of Za-27 Alloy Based Nanocomposites Reinforced with Al₂O₃ Particles”, Tribology in Industry, Vol.37, No.4, pp. 413-420, ISSN 0354-8996, 2015
11. S. Mitrović, M. Babić, N. Miloradović, I. Bobić, B. Stojanović, D. Džunić, **M. Pantić**: “Wear Characteristics of Hybrid Composites Based on ZA27 Alloy Reinforced With Silicon Carbide and Graphite Particles”, Tribology in Industry, Vol.36, No.2, pp. 204-210, ISSN 0354-8996, 2014.
12. M. Babić, B. Stojanović, S. Mitrović, I. Bobić, N. Miloradović, **M. Pantić**, D. Džunić: “Wear Properties of A356/10SiC/1Gr Hybrid Composites in Lubricated Sliding Conditions”, Tribology in Industry, Vol.35, No.2, pp. 148-154, ISSN 0354-8996, 2013.
13. S. Mitrović, M. Babić, B. Stojanović, N. Miloradović, **M. Pantić**, D. Džunić: “Tribological Potential of Hybrid Composites Based on Zinc and Aluminium Alloys Reinforced with SiC and Graphite Particles”, Tribology in Industry, Vol.34, No.4, pp. 177-185, ISSN 0354-8996, 2012.
14. S. Mitrović, M. Babić, D. Adamović, F. Živić, D. Džunić, **M. Pantić**: “Wear Behaviour of Hard Cr Coatings for Cold Forming Tools Under Dry Sliding Conditions”, Tribology in Industry, Vol.34, No.1, pp. 44-48, ISSN 0354-8996, 2012.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

15. **M. Pantić**, S. Mitrović, M. Babić, D. Jevremović, D. Džunić, F. Živić, D. Adamović, “AFM Surface Roughness and Topography Analysis of Lithium Disilicate Glass Ceramic”, 14th International Conference on Tribology, Serbiatrib '15, Belgrade, Serbia, 13 – 15 May 2015, pp. 514-521, ISBN 978-86-7083-857-4.
16. D. Džunić, S. Mitrović, M. Babić, I. Bobić, **M. Pantić**, D. Adamović, B. Nedeljković, “Nanoindentation of ZA27 Alloy Based Nanocomposites Reinforced with Al₂O₃ Particles”, 14th International Conference on Tribology, Serbiatrib '15, Belgrade, Serbia, 13 – 15 May 2015, pp. 73-80, ISBN 978-86-7083-857-4.
17. D. Milosavljević, G. Bogdanović, **M. Pantić**: “Role of the Universities in Technology Transfer in Serbia”, ICTT 2013, 2013 International Conference on Technology Transfer, Niš, Serbia, 20-21 June 2013, pp 155-160, ISBN 978-86-6125-083-5.
18. M. Babić, B. Stojanović, S. Mitrović, I. Bobić, N. Miloradović, **M. Pantić**, D. Džunić, “Wear Properties of A356/10SiC/1Gr Hybrid Composites in Lubricated Sliding Conditions”, 13th International Conference on Tribology, Serbiatrib '13, Kragujevac, 2013, 15-17 May, pp. 129-134, ISBN 978-86-86663-98-6.
19. S. Mitrović, M. Babić, I. Bobić, F. Živić, D. Džunić, **M. Pantić**, “Wear Behaviour of Composites Based on Za27 Alloy Reinforced with Graphite Particles”, 13th International Conference on Tribology, Serbiatrib '13, Kragujevac, 2013, 15-17 May, pp. 124-128, ISBN 978-86-86663-98-6.
20. M. Erić, S. Mitrović, F. Živić, **M. Pantić**: “Application of Contemporary Information Technologies in Nanotribometry”, 12th International Conference on Tribology,

Serbiatrib '11, Kragujevac, Serbia, 11-13 May 2011, pp 392-396, ISBN 978-86-86663-74-0.

21. M. Babić, D. Adamović, S. Mitrović, F. Živić, D. Džunić, **M. Pantić**: “Tribological Properties of Shot Peened Surfaces of 36NiCrMo16 Alloyed Steels in Dry Sliding Condition”, 12th International Conference on Tribology, Serbiatrib '11, Kragujevac, Serbia, 11-13 May 2011, pp 168-173, ISBN 978-86-86663-74-0.
22. S. Mitrović, M. Babić, D. Adamović, F. Živić, D. Džunić, **M. Pantić**: “Wear Behaviour of TiN Coatings for Cold Forming Tools under Dry Sliding Conditions”, 12th International Conference on Tribology, Serbiatrib '11, Kragujevac, Serbia, 11-13 May 2011, pp 174-180, ISBN 978-86-86663-74-0.
23. S. Mitrović, M. Babić, F. Živić, D. Džunić, **M. Pantić**: “Wear Behaviour of Cr Hard Coatings for Cold Forming Tools Under Dry Sliding Conditions”, 34th International Conference on Production Engineering, Niš, Serbia, 28-30 September 2011, pp 519-522, ISBN 978-86-6055-019-6.
24. M. Babić, D. Adamović, S. Mitrović, F. Živić, D. Džunić, **M. Pantić**: “Wear Properties of Shot Peened Surfaces Of 36NiCrMo16 Alloyed Steels Under Lubricated Condition”, 7th BalkanTrib International Conference, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, pp 69-76, ISBN 978-980-98780-6-7.
25. F. Živić, M. Babić, D. Adamović, S. Mitrović, G. Favaro, **M. Pantić**: “Influence of the Surface Roughness on Adhesion of Chrome Coatings on Alloy Tool Steel 165CrMoV12”, 9th International Conference COATINGS, Thessaloniki, Greece, 3-5 October 2011, pp 389-396, ISBN 978-980-98780-5-0.

Рад у водећем часопису националног значаја (M51)

26. **M. Pantić**, S. Mitrović, M. Babić, D. Jevremović, D. Džunić, T. Kanjevac, D. Adamović, “Effects of Different Finishing Procedure onto Nanomechanical and Nanotribological Characteristics of Lithium Disilicate Glass Ceramics”, Tribological Journal BULTRIB, Vol.6, pp. 137-146, ISSN 1313-9878, 2016.
27. D. Džunić, S. Mitrović, M. Babić, **M. Pantić**, I. Bobić, “Tribological Behavior of Za-27 Alloy Based Nanocomposite Reinforced with SiC Nanoparticles”, Tribological Journal BULTRIB, Vol.6, pp. 147-153, ISSN 1313-9878, 2016.
28. M. Babić, B. Stojanović, S. Mitrović, I. Bobić, N. Miloradović, **M. Pantić**, “The Influence of Lubricant on Friction Coefficient of Hybrid Al-SiC-Gr Composites”, Tribological Journal BULTRIB, Vol.3, No.1, pp. 148-154, ISSN 1313-9878, 2013.
29. S. Mitrović, M. Babić, D. Adamović, F. Živić, D. Džunić, **M. Pantić**, “Wear and Friction Properties of Shot Peened Surfaces Of 36CrNiMo4 And 36NiCrMo16 Alloyed Steels Under Dry And Lubricated Contact Conditions”, Tribological Journal BULTRIB, Vol.3, No.1, pp. 155-169, ISSN 1313-9878, 2013.
30. M. Erić, S. Mitrović, M. Babić, F. Živić, **M. Pantić**, “Application of Contemporary Information Technologies in Nanotribometry”, Tribology in Industry, Vol.33, No.4, pp. 159-163, ISSN 0354-8996, 2011.

Уређивање зборника саопштења међународног научног скупа (M36)

1. S. Mitrović, D. Džunić, **M. Pantić**, Tehnički urednik - Proceedings, 13th International Conference on Tribology, SERBIATRIB '13, Kragujevac, Srbija, 2013, 15-17.05., pp. 1-455, ISBN 978-86-86663-98-6

2. S. Mitrović, D. Džunić, **M. Pantić**, Tehnički urednik - Proceedings, 15th International Conference on Tribology, SERBIATRIB '17, Kragujevac, Srbija, 2017, 17-19.05., pp. 1-, ISBN 978-86-6335-041-0

Уређивање научног часописа националног значаја (Технички уредник)

1. **M. Pantić**, Technical Editor, Tribology in Industry, Vol.35, No.1, 2, 3, 4, pp. 1-357, ISSN 0354-8996, 2013.
2. **M. Pantić**, Technical Editor, Tribology in Industry, Vol.36, No.1, 2, 3, 4, pp. 1-487, ISSN 0354-8996, 2014.
3. **M. Pantić**, Technical Editor, Tribology in Industry, Vol.37, No.1, 2, 3, 4, pp. 1-538, ISSN 0354-8996, 2015.
4. **M. Pantić**, Technical Editor, Tribology in Industry, Vol.38, No.1, 2, 3, 4, pp. 1-589, ISSN 0354-8996, 2016.
5. **M. Pantić**, Technical Editor, Tribology in Industry, Vol.39, No.1-, pp. 1-143, ISSN 0354-8996, 2017.

Учешће на пројекту ресорног министарства

1. TP 35021 – Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита, руководилац пројекта Проф. др Мирослав Бабић.

Учешће на међународним пројектима

1. TEMPUS PROJECT, "WBC Virtual Manufacturing Network - Fostering an Integration of the Knowledge Triangle, 144684-TEMPUS-2008-RS-JPHES", Универзитет у Крагујевцу.
2. IZE, Promoting Innovation in the Industrial Informatics and Embedded Systems Sectors through Networking, SEE/A/219/1.1/X, 2009, Машински факултет у Крагујевцу.
3. RSEDP2, "Automotive Training Centre for Central Serbia (ATC Serbia), RS-2010-AQA-2708383261LEF", Машински факултет у Крагујевцу.
4. TEMPUS PROJECT, "National Platform for Knowledge Triangle in Serbia (KNOWTS)", JP 158881-2009, Универзитет у Крагујевцу.
5. TEMPUS PROJECT, Development of Sustainable Interrelations between Education, Research and Innovation at WBC Universities in Nanotechnologies and Advanced Materials where Innovation Means Business, 543898-TEMPUS-1-2013-1-ES-TEMPUS-JPHES.

Стручно усавршавање

- У периоду од 16. до 21. јула 2009. године, прошао обуке у Италији у Институту за Иновације у Механици и Менаџменту (ДИМЕГ), на Универзитету у Падови везане за Нове технологије; Конкурентни инжењеринг и Испитивања материјала.
- У јануару 2010. године, завршио обуку у трајању од 10 дана на Машинском факултету у Крагујевцу за коришћење Мултисензорске Координатне Мерне Машине - WinWerth VideoCheck IP250, од стране представника Werth-а из Пољске (PrimaPolska).
- У Априлу 2010. године, завршио обуку за Репид-прототајпинг у трајању од 3 дана на Машинском факултету у Крагујевцу од стране Италијанског представника

Објет-а из Израела, за коришћење софтвера и Објет 3Д штампача Аларис 30, који израђује пластичне 3Д моделе најсавременијом PoliJet технологијом.

- У период од 07. до 11. Јуна 2010. године, прошао обуке у Словенији на Универзитету у Љубљани (на Факултету природних и техничких наука и Институту за металургију и технологију) и предузећу ЦЗМ д.о.о. у вези са Методама коначних елемената (ФЕМ); Микроструктурним променама материјала; Скенирањем електронским микроскопом и Супер пластичношћу легура алуминијума.
- У период од 30. Августа до 03. Септембра 2010. године, прошао обуке на Универзитету Техничких наука у Данској (Лингби) на Институту за производно машинство (ИПУ) везано за Метрологију; Трибологију; Брзу израду прототипова – Репид прототипинг; Ласерску технологију; Коефицијент преноса топлоте и Микро технологију.
- У периоду од 13. до 17. септембра 2010. године, прошао обуке у Италији у Институту за Иновације у Механици и Менаџменту (ДИМЕГ), на Универзитету у Падови везане за Метрологију; Реверзни Инжењеринг и Репид-прототипинг; Конкурентни инжењеринг; Трибологију обликовања лима; Бризгање.
- У децембру 2010. године прошао обуку CAD/CAM моделирање (CATIA V5), на Машинском факултету у Крагујевцу (ЦТЦ центар), у трајању од 40 часова.
- У периоду од 06. до 10. маја 2013. године прошао обуку у Шпанији на Универзитету у Аликантеу, везану за трансфер технологија.
- У периоду од 02. до 07. јула 2013. године, прошао обуку у Португалији у Институту „INESC ID“ Универзитета у Лисабону, везану за трансфер технологија.
- У периоду од 14. до 16. маја 2014. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, прошао обуку за коришћење NTNDT AFM Микроскопа (Микроскоп атомских сила), од стране Холандског представника Globe Corporation.
- У периоду од 23. до 25. септембра 2014. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, успешно прошао обуку за коришћење CSM Nanoidenter-a i Microscratch Tester-a (Уређај за одређивање механичких карактеристика површинског слоја материјала на микро/нано нивоу), од стране представника CSM-а из Швајцарске.
- У периоду од 06. до 08. априла 2016. године, у Центру за трибологију на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, успешно прошао обуку за коришћење Phenom ProX SEM микроскопа (Скенирајући електронски микроскоп) од стране Хрватског представника Phenom-а, Трокут Тест-а.

4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж., под насловом **"Триболошка карактеризација напредних стоматолошких материјала"**, усклађена је по обиму и садржају теми одобреној од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

Највећим делом дисертација је проистекла из теоријских и експерименталних истраживања аутора и обраде тако добијених резултата, одакле су произашли

одговарајући закључци тако да су у целини испуњени сви научни, стручни и законски услови да ова дисертација буде прихваћена.

Основни циљ ове докторске дисертације је детаљна триболошка карактеризација одабраних безметалних керамичких система на нано/микро нивоу и прописивање методологије лабораторијских испитивања за сва будућа триболошка истраживања стоматолошких материјала сличног типа. Експериментална испитивања омогућила су дефинисање најутицајнијих параметара, како контактних, тако и структурних на триболошке карактеристике безметалних керамичких система у функцији више варираних контактних параметара. Такође, дефинисани су доминантни механизми хабања и услови под којим они настају. На основу обимних механичких и триболошких резултата извршено је њихово тумачење и међусобно поређење са циљем могућег унапређења постојећих и/или будућег развоја нових материјала сличног типа.

Резултати истраживања су у писаном делу докторске дисертације изложени на укупно 251 страни. Дисертација садржи 173 слике, 35 табела, 24 прилога и 402 библиографских података. Рад чини осам тематских целина, односно поглавља, тако разврстаних да буду међусобно повезана, да представљају једну нераскидиву целину. Сходно томе, наведена поглавља су сложена према следећем редоследу:

1. Уводна разматрања;
2. Безметални керамички материјали у стоматологији;
3. Преглед актуелног стања триболошких истраживања природних и вештачких стоматолошких материјала;
4. Мерни уређаји за експериментална триболошка испитивања;
5. Резултати испитивања и њихова анализа;
6. Закључна разматрања;
7. Литература;

Прилог.

У првом поглављу су дата уводна разматрања, са посебним акцентом на важност развоја нових и унапређење постојећих материјала у естетској стоматологији у циљу смањења трења и хабања. Наведени су актуелни циљеви и правци докторске дисертације, као и методе истраживања.

Поглавље 2 обухвата детаљан преглед и опис свих испитиваних материјала у оквиру дисертације, у виду естетских, хемијских, механичких и структурних особина. Испитиване су четири групе комерцијалних материјала на бази безметалних керамичких система, који представљају тренутно најновије материјале у данашњој естетској стоматологији: леуцит (IPS Empress CAD), литијум дисиликат (IPS e.max CAD), фасетна керамика (IPS e.max Ceram) и цирконијум (IPS e.max ZirCAD). Такође, детаљно су описане карактеристичне термичке обраде (кристализација и синтеровање) сваког материјала, као и начини њиховог добијања.

У Поглављу 3 је поклоњена пажња прегледу актуелног стања триболошких истраживања природних и вештачких стоматолошких материјала. Представљена су бројна научна достигнућа из области био-трибологије, са циљем приказивања постојећих трендова и разумевања присутних механизма хабања стоматолошких материјала, који се јављају у пракси. Тренутни истраживачки напори у свету су увелико усмерени ка узајамном повезивању *in vitro* експеримената са *in vivo* клиничким

пробама, ради бољег разумевања присутних механизма хабања код нових напредних стоматолошких материјала, али и код оних који се већ примењују.

Поглавље 4 обухвата детаљан приказ свих мерних уређаја који су коришћени за бројна експериментална испитивања структурних, механичких и триболошких карактеристика поменутих материјала. Испитивања су реализована на најсавременијим уређајима за трибодијагностику на нано/микро нивоу, у зависности од плана експеримента, који је детаљно приказан на крају поглавља. Поред датих техничких могућности опреме, представљен је и детаљан принципи рада сваког уређаја, као и конкретна примењена методологија прикупљања и анализе резултата испитивања.

Поглављу 5 подразумева резултате испитивања и њихово детаљну анализу, на крају сваког експеримента, и представљени су оним редом којим су експериментална испитивања вршена. На самом почетку поглавља, дата је детаљна процедура припреме узорака завршним обрадама (полирање, глазирање и брушење). Одређивање храпавости контактних површина свих узорака реализовано је уз помоћ микроскопа атомских сила (AFM), где су добијени резултати представљени у виду изабраних параметара храпавости, 3D топографије површина и профила храпавости. Механичке карактеристике материјала су добијене помоћу наноутискивача, и приказане су у виду нанотврдоће, модула еластичности и максималне дубине утискивања. Анализа трагова нано утискивања извршена је помоћу AFM микроскопа. За испитивање трибо-механичких карактеристика узорака, третираних завршном обрадом глазирањем, коришћен је микро скреч тестер (MST). Триболошка испитивања су реализована на нанотибометру, где су као излазни резултати представљене вредности коефицијената трења и степени хабања материјала. Анализа трагова хабања настали при контакту површине материјала са Al_2O_3 куглицом, пречника 1.5 mm, спроведена је помоћу оптичког и скенирајућег електронског микроскопа (SEM), у виду представљања доминантних механизма хабања материјала при различитим завршним обрадама. Такође у склопу SEM анализе, приказана је и EDS спектроскопија одабраних трагова хабања свих испитиваних материјала.

У Поглављу 6 дата су закључна разматрања свих експерименталних истраживања, односно сумирање информација изложених у свим претходним поглављима. Посебна пажња је посвећена закључцима који се односе на испитивања механичких и триболошких карактеристика безметалних керамичких система третираних различитом завршном обрадом.

Поглавље 7 се односи на списак литературних извора.

У Прилогу се налазе резултати испитивања који своје место нису нашли у презентованом делу докторске дисертације. Прилог се односи на бројне приказе оптичких слика трагова хабања, при максималном нормалном оптерећењу (1 N) и средње вредности брзине клизања (8 mm/s), као и на дијаграмске приказе њихових коефицијента трења при истим поменутих параметрима испитивања.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Марко Пантић, дипл. маш. инж., је у оквиру ове докторске дисертације извршио систематизацију постојећих теоријских и експерименталних знања и искустава у области добијања, одређивања механичких и триболошких карактеристика безметалних керамичких система на бази стакло керамике и цирконијума. У току израде предметне дисертације, кандидат је дошао до резултата и закључака који имају

своје место и значај како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу. Најважнији научни резултати докторске дисертације су:

- Дефинисан је утицај различитих завршних обрада на механичке карактеристике, тврдоћу и модул еластичности код испитиваних материјала. Различите завршне обраде су показале знатно велики утицај на добијене вредности резултата.
- Приликом поступка наноутискивања уочен је феномен познат под термином „Ефекат величине отиска“, окарактерисан опадањем вредности тврдоће и модула еластичности, код свих полираних испитиваних материјала, са порастом силе утискивања.
- На основу микро скреч теста одређене су трибо-механичке карактеристике глазираних површина материјала, у виду бројних корисних и оригиналних резултата.
- Дефинисан је утицај промене контактних параметара, брзине клизања и нормалног оптерећења на отпорност на хабање и фрикционе карактеристике код испитиваних материјала третираних различитим завршним обрадама. Глазирана завршна обрада је показала тотално дијаметрално понашање стакло керамике у поређењу са цирконијумом.
- На основу анализе трагова хабања скенирајућим електронским микроскопом и енерго-дисперзивним спектром дефинисани су доминантни механизми хабања, на различитим третираним керамичким узорцима.

6. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж. под насловом "Триболошка карактеризација напредних стоматолошких материјала" применљиви су и корисни, како у теорији, тако и у пракси.

У **теоријском делу овог рада** дата су општа, а где је било неопходно и детаљна објашњења која су значајна за ову проблематику. Општа објашњења су дата ради лакшег разумевања основних појмова и појава, а детаљна објашњења појединих појава имају за циљ да послуже као основа за боље разумевање приликом анализе добијених резултата експерименталних истраживања. Значај теоријског дела овог рада састоји се у следећем:

- систематизован је преглед најновијих научних сазнања код природних и вештачких стоматолошких материјала који се сусрећу у пракси;
- детаљно је приказан опис тренутног стања истраживања из области биотрибологије, са циљем представљања постојећих трендова и разумевања присутних механизма хабања како код нових стоматолошких материјала, тако и код оних који се већ примењују у пракси;
- дат је детаљан преглед и опис испитиваних безметалних керамичких материјала у виду њихових естетских, хемијских, физичко-механичких и структурних особина. Такође, детаљно је описан и начин њиховог добијања кроз карактеристичне термичке обраде материјала, тј. процесом кристализације и синтеровања, уз навођење њихових позитивних и негативних особина;
- кроз литературни преглед приказани су различити утицаји завршних обрада стоматолошких рестаурација на структурне, механичке и триболошке карактеристике у различитим условима испитивања.

Ова теоријска разматрања служе као полазна основа за разјашњење појединих феномена и трендова који се појављују у експерименталним истраживањима. Велики је значај теоријског дела ове дисертације и у томе што су приказана најновија сазнања из ове области која се односи на испитивања на савременим лабораторијским уређајима.

Експериментални део испитивања подељен је у две групе. Први део се односи на испитивања одређивање механичких карактеристика материјала, односно тврдоће и модула еластичности и карактеристика површинских слојева, са аспекта одређивања параметара храпавости при различитим завршним обрадама. Други део експерименталних испитивања се односи на триболошка испитивања, односно одређивање фрикционих карактеристика и отпорности на хабање поменутих материјала. Детаљним анализама трагова хабања одређени су доминантни механизми хабања.

Експериментална испитивања безметалних керамичких материјала на бази стакло керамике и цирконијума омогућила су да се:

- уз помоћ AFM анализе дефинишу параметри храпавости, 3D топографије и профили храпавости површина при различитим завршним обрадама;
- на основу наноутискивања одреде механичке карактеристике свих материјала, у виду представљања упоредних резултата вредности тврдоћа и модула еластичности;
- на основу микро скреч теста одреде трибо-механичке карактеристике глазираних површина материјала;
- одреди утицај промене контактних параметара, брзине клизања и нормалног оптерећења на вредности коефицијента трења и степена хабања испитиваних материјала, добијених на нанотрибометру;
- уз помоћ SEM анализе трагова хабања дефинишу доминантни механизми хабања код свих керамичких материјала третираних полирањем, глазирањем и брушењем;

Теоријска и експериментална истраживања приказана у дисертацији кандидата Марка Пантића, неоспорно ће допринети бољем повезивању *in vitro* са *in vivo* студијама, у циљу унапређења постојећих или развоја нови безметалних керамичких материјала.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Део научних резултата већ је верификован објављивањем неколико научно-стручних радова у међународним и водећим националним научним часописима, као и на међународним научним скуповима.

Комисија сматра да истраживања и још необјављени резултати ове докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даље објављивање у међународним и водећим националним часописима као и скуповима, који се односе на испитивање механичких и триболошких карактеристика стоматолошких безметалних система на бази стакло керамике и цирконијума.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж., како по обиму тако и по квалитету, у потпуности одговара теми пријављене дисертације, одобрене одлуком бр. 01-1/885-13 од 20.03.2014. године, од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

Кандидат је током писања користио устаљену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада и да поседује способност системског приступа и коришћења литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање и дугогодишње искуство рада у лабораторији, показао способност да овој сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу дефинисања закључака и добијања конкретних резултата.

Опсежна теоријска и експериментална истраживања у овом раду изведена су с циљем да се дође до јединствене методологије разумевања добијених резултата који су омогућили дефинисање најутицајнијих параметара, како контактних, тако и структурних на триболошке карактеристике безметалних керамичких система у функцији више варираних контактних параметара. Поред изведених закључака на основу спроведених испитивања, кандидат је дао предлог и смернице за даља истраживања у овој области.

Докторска дисертација је у потпуности резултат самосталног рада, а добијени резултати представљају веома значајан допринос знањима везаним за триболошка и механичка понашања стоматолошких безметалних система на бази стакло керамике и цирконијума.

На основу свега изнетог, Комисија за преглед и оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Марка Пантића, дипл. маш. инж., једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

"Триболошка карактеризација напредних стоматолошких материјала"

по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности испуњава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, да овај Извештај у потпуности прихвати и закаже јавну усмену одбрану наведене дисертације.

У Крагујевцу и Београду,

04. мај 2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. Др Мирослав Бабић, ред. проф., председник Комисије

Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука

Уже научне области: Производно машинство, Индустријски инжењеринг

2. Др Драган Адамовић, ред. проф.

Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука

Уже научне области: Производно машинство, Индустријски инжењеринг

3. Др Александар Венцл, ред. проф.

Универзитет у Београду, Машински факултет

Уже научна област: Технологија материјала – Трибологија

4. Др Татјана Кањевац, ванр. проф.

Универзитет у Крагујевцу, Факултет медицинских наука

Уже научна област: Дечја и превентивна стоматологија

5. Др Данимир Јевремовић, ванр. проф.

Универзитет Привредна академија у Новом Саду, Стоматолошки факултет Панчево

Уже научна област: Клиничка стоматологија
