

ПРИМЉЕНО 28.5.2015.			
Орг. јед.	Број	Циљна	Вредност
	01-1/1856		

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

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

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1/1305-18 од 16. 04. 2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Драгана Џунића, дипл. маш. инж. под насловом:

"АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ТРЕЊА И ХАБАЊА НАНОКОМПОЗИТА СА МЕТАЛНОМ ОСНОВОМ"

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. 01-1/2416-4 од 19. 09. 2013. 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 Драгана Џунића, дипл. маш. инж., под насловом "Анализа процеса трења и хабања нанокмпозита са металном основом", представља резултат научноистраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на теоријско-експериментално истраживање процеса трења и хабања нанокмпозита са металном основом. С обзиром на дате теоријске основе, лабораторијска испитивања и добијене резултате, ова дисертација представља оригинални научни рад. Кандидат Драган Џунић, дипл. маш. инж., је најпре детаљно анализирао и систематизовао постојећа сазнања из ове области, а затим извео сложена лабораторијска испитивања и најзад дошао до научно заснованих закључака.

Развој композитних материјала је претходних година усмерен на ојачање материјала нанометарским честицама ојачавача. Преглед теоријских и литературних извора је показао да је добијање композита ојачаних наночестицама у почетној фази. Испитивани нанокмпозитни материјали са металном основом, засновани на легурама

ZA-27 и A356 су добијени компокастинг поступком (додавање честица ојачавача у полуочврсли растоп основне легуре), у Институту за нуклеарне науке Винча. Добијање и испитивање нанокомпозита је део научно истраживачког пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Испитивања нанокомпозита са овим основама ојачаних керамичким нано честицама представљају логичан след активности, након успешног добијања композита ојачаних керамичким микро честицама и честицама графита.

О актуелности добијања и испитивања нанокомпозита говори и чињеница о непостојању општеприхваћених дефиниција у погледу утицаја нано честица на механичке и триболошке карактеристике композита. Прегледом литературних извора закључује се да додавање нано честица ојачивача утиче на структурну промену материјала основе и самим тим узрокује у потпуности другачије понашање у односу на композите ојачане микро честицама.

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 механичких и триболошких карактеристика нанокомпозита. Услови испитивања су одређени у складу са актуелним трендовима испитивања нанокомпозита добијеним на основу систематизације релевантних научних резултата.

Предмет испитивања је успостављање зависности механичких са структурним, триболошких са механичким карактеристикама испитиваних нанокомпозита. Добијени резултати указују на даље правце унапређења поступка добијања нанокомпозита компокастинг поступком и истовремено приказују утицај насавршености материјала, у погледу распореда наночестица у материјалу основе и присуства гасних мехура, на механичке и триболошке карактеристике нанокомпозита.

Резултати добијени током истраживања у оквиру израде докторске дисертације пружају релевантне податке и вредне информације о утицају различитих параметара удела ојачивача у материјалу основе на механичке карактеристике и брзине клизања и нормалног оптерећења на триболошко понашање нанокомпозита. Такође, овом дисертацијом у великој мери умањен је недостатак домаће литературе из трибологије нанокомпозитних материјала.

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

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Драгана Џунића, дипл. маш. инж., под насловом "**Анализа процеса трења и хабања нанокомпозита са металном основом**", представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој примењених наука у области теоријског и експерименталног истраживања трибологије и сам развој нанокомпозита. Кандидат је стекао велико искуство у извођењу механичких и триболошких испитивања материјала лабораторијским радом и ангажовањем на предметима основе трибологије, трибомеханички системи, машински материјали и инжењерски материјали. Будући да је на практичном нивоу познавао већину метода испитивања механичких и

триболошких карактеристика материјала, успео је да резултате испитивања нанокompозита повеже и образложи одговарајућим законитостима.

Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој науке у области разматрања утицаја параметара добијања и удела честичног ојачавача на његов распоред у материјалу основе и на механичке и триболошке карактеристике нанокompозита.

Кандидат је детаљно и студиозно, у складу са научним принципима, реализовао веома обимна експериментална испитивања механичких и триболошких карактеристика претходно добијених и припремљених нанокompозита. Композити са ZA-27 и A356 основом ојачани су са 1, 3 и 5% удела нано честица Al_2O_3 и SiC, величине 20-30 nm и 50 nm, респективно. Испитивањима су добијени резултати макро и нано мерења тврдоће, при чему су приликом поступка нано утискивања добијене и вредности модула еластичности површинских слојева нанокompозита. 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 нанокompозита, одредио доминантне механизме хабања. Овим анализама успешно је дефинисан процес одвијања хабања.

Имајући у виду чињеницу да нано честице, због своје природе, теже агломерацији добијени резултати представљају добру основу за дефинисање будућих праваца унапређења и развоја компокастинг поступка добијања композита. Унапређење поступка добијања се односи на варирање брзина мешања и времена трајања мешања полуочврслог растопа материјала основе након додавања нано честица ојачавача.

На основу свеобухватне и критичке анализе научних знања из ове области, дефинисан је начин и методологија испитивања утицаја удела ојачавача на структурне и механичке карактеристике, а затим њихов утицај на триболошко понашање нанокompозита. Оригиналност научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру ове дисертације огледа се, између осталог, и у следећим елементима:

- Дефинисана је методологија испитивања механичких карактеристика нанокompозита применом технике нано утискивања.
- Одређен је утицај додавања нано честица на структурне карактеристике нанокompозита, а затим утицај тих карактеристика на механичке и триболошке карактеристике.
- Дефинисан је утицај контактних параметара на триболошке феномене, трење и хабање нанокompозита.
- Истраживачким резултатима употпуњена су научна сазнања о триболошким карактеристикама нанокompозита на бази ZA-27 и A356 легура.
- Анализом трагова хабања дефинисани су доминантни механизми хабања. Синтезом ових резултата са резултатима израженим кривим хабања и анализом прикупљених продуката хабања дефинисано је одвијање процеса хабања.
- Дефинисан је утицај различитих ојачавача на механичке и триболошке карактеристике нанокompозита.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одговарајућој научној области

Драган Џунић је рођен 29. 07. 1981. године у Бањалуци, општина Бањалука, Република Босна и Херцеговина. Сада живи у Крагујевцу. Ожењен је и има једно дете. У основну школу уписан је у родном месту, а завршио је у Крагујевцу 1996. године са одличним успехом. Средњу Прву крагујевачку гимназију, природно-математички смер, завршио је у Крагујевцу 2000. године са одличним успехом.

Машински факултет у Крагујевцу завршио је 2008. године на смеру за Производно машинство и индустријски инжењеринг са просечном оценом 8.45. Дипломски рад под насловом *"Управљање знањем у СИМ окружењу"*, одбранио је са оценом 10 (десет). Докторске студије на Машинском факултету у Крагујевцу уписао је школске 2008/2009. године. Положио је све предвиђене испите са просечном оценом 10.00 и стекао услов за израду докторске тезе под насловом *"Анализа процеса трења и хабања нанокмозита са металном основом"*.

По завршетку редовних студија уписује докторске студије на матичном факултету и 2009. године бира се у звање истраживач-сарадник. Активно учествује у извођењу наставе у оквиру следећих предмета:

- Машински материјали, I година основних студија, 2008. – 2015.,
- Основе предузетничког менаџмента и економије, I година основних студија, 2008. – 2015.,
- Основи трибологије, III година основних студија, 2008. – 2015.,
- Предузетништво, III година основних студија, 2008. – 2015.,
- Трибомеханички системи, I година мастер студија, 2011. – 2013.,
- Предузетнички процес, I година мастер студија, 2008. – 2015.,
- Предузетнички процес, Једногодишњи мастер, 2011. – 2015.,
- Инжењерски материјали, I година Урбано инжењерство, 2013. – 2015..

Кандидат је активни члан Српског триболошког друштва од 2011. године и Комисије за промоцију факултета од 2012. године.

У току досадашњег радног века, учествовао је у реализацији већег броја пројеката и до сада објавио 28 радова у научним часописима са рецензијом, као и у зборницима радова са домаћих и међународних научно-стручних скупова. Неколико радова је проглашено оригиналним научним радовима, а седам радова је објављено на SCI листи, два рада категорије M21 и пет радова категорије M23. Технички уредник је зборника радова конференције „SERBIATRIB`13” и помоћник уредника часописа „Tribology in Industry“ од 2013. године.

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. M. Babic, S. Mitrovic, **D. Džunić**, B. Jeremic, I. Bobic, Tribological Behavior of Composites Based on Za-27 Alloy Reinforced With Graphite Particles, Tribology Letters, Vol.37, No.2, pp. 401-410, ISSN 1023-8883, Doi 10.1007/s11249-009-9535-2, 2010.

2. 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, No.1, pp. 223-232, ISSN 0169-4332, Doi 10.1016/j.apsusc.2013.11.050, 2014.

Рад у међународном часопису (M23)

1. M. Babic, D. Adamovic, S. Mitrovic, F. Zivic, **D. Dzunic**, M. Pantic, Wear Properties Of Shot Peened Surfaces Of 36NiCrMo16 Alloyed Steels Under Lubricated Condition, Journal of Balkan tribological association, Vol.18, No.4, pp. 566-576, ISSN 1310-4772, 2012.
2. S. Mitrovic, 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.
3. B. Jeremic, D. Vukelic, P. M. 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. Dj. Vukelic, D. Miljanic, S. Randjelovic, I. Budak, **D. Dzunic**, M. Eric, M. Pantic, A burnishing process based on the optimal depth of workpiece penetration, Materials and technology, Vol.47, No.1, pp. 43–51, ISSN 1580-2949, 2013.
5. M. Eric, M. Babic, S. Mitrovic, B. Tadic, **D. Dzunic**, Conversion of data into information in tribology research, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol.20, No.1, pp. 49-62, ISSN 1310-4772, 2014.

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. 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.
2. 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.
3. A. Vencl, B. Gligorijević, B. Katavić, B. Nedić, **D. Džunić**, Abrasive Wear Resistance of the Iron- and WC-based Hardfaced Coatings Evaluated with Scratch Test Method, Tribology in Industry, Vol.35, No.2, pp. 123-127, ISSN 0354-8996, 2013.
4. 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.
5. 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.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. M. Babić, D. Adamović, S. Mitrović, F. Živić, **D. Džunić**, Wear Properties of shot peened Surfaces Of 36NiCrMo16 Alloyed Steels Under Lubricated Condition, 7th BalkanTrib International Conference, Solun, Greece, 2011
2. M. Babić, S. Mitrović, D. Adamović, **D. Džunić**, F. Živić, The Effect of Shot Peening on Tribological Behavior of Alloyed Steels, International Conferences on Shot Peening, ICSP-11, USA, 2011
3. 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, 2011, 11 – 13 May, pp. 168-173, ISBN 978-86-86663-74-0
4. M. Babić, S. Mitrović, 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, 2011, 11 – 13 May, pp. 174-180, ISBN 978-86-86663-74-0
5. S. Mitrović, M. Babić, F. Živić, I. Bobić, **D. Džunić**, Influence Of Al₂O₃ Particle Content On The Sliding Wear Behaviour Of ZA-27 Alloy Composites, 7th BalkanTrib International Conference, Solun, Greece, 2011
6. S. Mitrović, M. Babić, D. Adamović, 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, 2011, September 28-30, pp. 519-522, ISBN 978-86-6055-019-6
7. 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, BULTRIB '12, Sofia, Bulgaria, 2012, 18-20.10.2012.
8. S. Mitrović, N. Miloradović, M. Babić, I. Bobić, B. Stojanović, **D. Džunić**, Wear behaviour of hybrid ZA27/SiC/Graphite composites under dry sliding conditions, BULTRIB '12, Sofia, Bulgaria, 2012, 18-20.10.2012.
9. A. Vencl, B. Gligorijević, B. Katavić, B. Nedić, **D. Džunić**, Abrasive wear resistance of the iron- and wc-based hardfaced coatings evaluated with scratch test method, 13th International Conference on Tribology - SERBIATRIB'13, Kragujevac, Serbia, 2013, 15-17 May, pp. 75-79, ISBN 978-86-86663-98-6
10. 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, Serbia, 2013, 15-17 May, pp. 129-134, ISBN 978-86-86663-98-6
11. M. Stefanović, **D. Džunić**, V. Mandić, S. Aleksandrović, D. Adamović, S. Mitrović, Increasing of tool life for hot forging using surface modification, 13th International Conference on Tribology – SERBIATRIB '13, Kragujevac, Serbia, 2013, 15-17 May, pp. 261-264, ISBN 978-86-86663-98-6
12. 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, Serbia, 2013, 15-17 May, pp. 124-128, ISBN 978-86-86663-98-6

13. S. Mitrović, M. Babić, N. Miloradović, I. Bobić, B. Stojanović, **D. Džunić**, Wear characteristics of hybrid composites based on ZA27 alloy reinforced with silicon carbide and graphite particles, 13th International Conference on Tribology – SERBIATRIB'13, Kragujevac, Serbia, 2013, 15-17 May, pp. 141-146, ISBN 978-86-86663-98-6
14. 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, pp. 514-521, 2015.
15. **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, pp. 73-80, 2015.

Уређивање зборника саопштења међународног научног скупа (M36)

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

Рад у водећем часопису националног значаја (M51)

1. S. Mitrovic, M. Babic, F. Zivic, I. Bobic, **D. Dzunic**, Nanotribology investigations of composites based on ZA-27 alloy reinforced by Al₂O₃ particles, Tribology in Industry, Vol.30, No.1&2, pp. 33-39, ISSN 0354-8996, 2008

Уређивање научног часописа националног значаја (на годишњем нивоу (M55)

1. **D. Džunić**, Editorial Assistant, Tribology in Industry, Vol.35, No.1, 2, 3, 4, pp. 0-357, ISSN 0354-8996, 2013.
2. **D. Džunić**, Editorial Assistant, Tribology in Industry, Vol.36, No.1, 2, 3, 4, pp. 0-487, ISSN 0354-8996, 2014.
3. **D. Džunić**, Editorial Assistant, Tribology in Industry, Vol.36, No.1, 2, 3, 4, pp. 0-487, ISSN 0354-8996, 2015.

Учешће на пројектима ресорног министарства

1. Технолошки развој 14005 - Развој напредне опреме за трибодијагностику и ММС на бази лаких метала
2. Технолошки развој 35021 - Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита

Учешће на међународним пројектима

1. TEMPUS PROJECT, Conversion Courses for Unemployed University Graduates in Serbia, 145009-TEMPUS-2008- RS-JPHES

2. TEMPUS PROJECT, Development of lifelong learning framework in Serbia, 145010-TEMPUS-2008-RS-JHPES
3. RSEDP2, "Automotive Training Centre for Central Serbia (ATC Serbia), RS-2010-AQA-2708383261LEF", Машински факултет у Крагујевцу.
4. 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.

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

Докторска дисертација кандидата Драгана Џунића, дипл. маш. инж., под насловом **"Анализа процеса трења и хабања нанокompозита са металном основом"**, 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.

Првенствени циљ ове докторске дисертације се огледа у томе да се, на основу обимних механичких и триболошких испитивања, укаже на будуће правце унапређења и развоја поступка добијања нанокompозита методом компокастинга. Анализа актуелног стања добијања нанокompозита је показала да је развој нанокompозита без негативних структурних појава, у виду настанка агломерата нано честица и ваздушних мехурова, тек у почетној фази. Резултати испитивања омогућавају сагледавање утицаја несавршености структуре нанокompозита на њихове механичке и триболошке карактеристике.

Резултати истраживања су у писаном делу докторске дисертације изложени на укупно 221 страни. Дисертација садржи 123 слике, 29 табела и 24 прилога. Рад чини десет 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. Нанокompозити са металном основом;
3. Преглед актуелног стања добијања и испитивања нанокompозита;
4. Поступак добијања и макро тврдоћа нанокompозита са ZA-27 и A356 основом;
5. Испитна и мерна опрема;
6. Резултати испитивања;
7. Анализа резултата;
8. Закључна разматрања;
9. Литература;

Прилог.

У првом поглављу су дата уводна разматрања, са посебним акцентом на актуелност добијања, испитивања и примене нанокompозитних. Наведени су актуелни циљеви и правци добијања и развоја нанокompозита. Укратко је указано на проблеме који се односе на поступак добијања и потенцијална решења актуелних проблема.

Друго поглавље описује појам композит и нанокompозит, које су сличности и разлике, шта су проблеми и препреке ка добијању материјала са жељеним карактеристикама. Такође, у оквиру овог поглавља дат је кратак осврт на детаље на које треба обратити пажњу приликом избора материјала основе, а које приликом избора ојачавача. За успешно тумачење особина и понашања композитних материјала неопходно је познавање механизма ојачања, неки од њих су представљени у оквиру овог поглавља. На крају овог поглавља дат је осврт на карактеристике легура које су основа добијених нанокompозита у овој докторској дисертацији, односно особина због којих су изабране за добијање нанокompозита.

Треће поглавље даје литературни преглед добијања и испитивања нанокompозита. Поглавље је подељено на три дела. Први део се односи на проблеме добијања нанокompозита различитим поступцима. Други део садржи преглед литературе која се односи на механичке и триболошке карактеристике нанокompозита са различитим основама и различитим врстама ојачавача. Трећи део овог поглавља представља анализу литературе која се односи на одређивање механичких карактеристика путем поступка нано утискивања.

Четврто поглавље је посвећено поступку добијања нанокompозитних материјала са основама од ZA27 и A356 легуре. Поред тога, дат је и приказ изгледа површина добијених нанокompозита, као вредности макро тврдоћа.

Пето поглавље представља приказ испитне и мерне опреме коришћене приликом испитивања структурних, механичких и триболошких карактеристика добијених нанокompозита. Поред датих техничких могућности опреме, дата је и теоријска основа и принципи рада, као и конкретна методологија примењена за прикупљање и анализу резултата испитивања.

Шесто поглавље односи се на резултате испитивања, који су представљени оним редом којим су испитивања вршена, почев од резултата мерења профила храпавости испитиваних површина, преко нано утискивања, до триболошких испитивања трења и хабања.

Седмо поглавље садржи анализу резултата приказаних у поглављу 6. Анализа се односи на тумачење механичких карактеристика материјала и њиховог утицаја на вредности трења и хабања нанокompозита при контакту са челичним диском. Анализа трагова нано утискивања извршена је помоћу микроскопа атомских сила, док су трагови и продукти хабања анализирани помоћу оптичког и електронског скенирајућег микроскопа.

У осмом поглављу дата су закључна разматрања, односно доношење закључака на основу информација изложених у свим претходним поглављима. Посебна пажња је посвећена закључцима који се односе на испитивања механичких и триболошких карактеристика нанокompозита. Такође, у овом поглављу дате су препоруке будућих праваца развоја нанокompозита.

Девето поглавље садржи списак коришћених литературних извора.

У прилогу се налазе резултати који се нису нашли у главном делу докторске дисертације, а додатно објашњавају тврдње и закључке, донесене на основу обимних испитивања.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Драган Џунић, 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 нанокompозита. 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 промене удела нано честица ојачавача на механичке карактеристике, тврдоћу и модул еластичности.
- Потврђен је утицај еутектичког силицијума на вредности нано тврдоће нанокompозита са А356 основом.
- Представљен је механизам понашања микрометарских зрна еутектичког силицијума приликом поступка наноутискивања.
- Дефинисан је утицај промене контактних параметара, брзине клизања и нормалног оптерећења на отпорност на хабање и фрикционе карактеристике нанокompозита.
- Представљене су последице структурне несавршености честичних нанокompозита, које се односе на појаву агломерата нано честица ојачавача и гасних мехурова, односно њихов утицај на механичке и триболошке карактеристике.
- На основу анализе трагова хабања скенирајућим електронским микроскопом и енерго-дисперзивним спектром дефинисани су доминантни механизми хабања, као и процес развоја хабања са пређеним путем клизања.

6. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Драгана Џунића, дипл. маш. инж. под насловом "Анализа процеса трења и хабања нанокompозита са металном основом" 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 из ове области;
- детаљно је дат опис тренутног стања истраживања нанокompозита, са аспекта избора материјала основе, врсте ојачавача и поступака добијања;

- дат је систематичан преглед поступака добијања нанокompозита кроз анализу литературних извора, уз навођење позитивних и негативних ефеката присуства нано честица у материјалу основе;
- кроз литературни преглед приказани су утицаји присуства нано честица и њихових различитих удела у материјалу основе, на структурне, механичке и триболошке карактеристике нанокompозита;
- дат је преглед механизма ојачања материјала основе са додавањем керамичких ојачавача;
- дат је теоријски основ за разумевање поступка нано утискивања неопходан за правилан одабир услова испитивања и накнадно тумачење добијених резултата.

Ова теоријска разматрања служе као основа за разјашњење појединих феномена који се при експериментима појављују и анализирају. Посебан је значај теоријског дела овог рада пошто 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. Други део експерименталних испитивања се односи на триболошка испитивања, односно одређивање фрикционих карактеристика и отпорности на хабање нанокompозита. Детаљним анализама трагова хабања и прикупљених продуката хабања одређени су доминантни механизми хабања.

Експериментална испитивања нанокompозита са различитим врстама ојачавача омогућила су да се:

- дефинише утицај врсте ојачавача на механичке и триболошке карактеристике нанокompозита са основама од ZA27 и A356 легуре;
- резултатима нано утискивања утврђен је утицај постојања еутектичког силицијума на вредности тврдоће и модула еластичности код материјала са A356 основом;
- одређен је утицај промене контактних параметара, брзине клизања и нормалног оптерећења на вредности коефицијента трења и вредности хабања нанокompозита;
- праћење промене хабања са пређеним путем клизања, омогућило је дефинисање утицаја контактнoг притиска на триболошке карактеристике;
- анализа трагова хабања и прикупљених продуката омогућила је дефинисање доминантних механизма хабања;
- дефинисан је утицај структурних несавршености на механичке и триболошке карактеристике нанокompозита;
- свеобухватном анализом теоријских извода и експерименталних резултата одређени су правци унапређења поступка добијања нанокompозита, са аспекта подешавања параметара процеса, као и могући правци модификације поступка;

Теоријска и експериментална истраживања дата у овом раду неоспорно ће допринети даљем развоју и већој примени компoкастинг поступка за добијање нанокompозита, ефикаснијем одређивању будућих експерименталних параметара, посебно у погледу нано утискивања.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

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

Комисија сматра да истраживања и још нео бјављени резултати ове докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даље објављивање у међународним и водећим националним часописима и скуповима, који се односе на испитивање механичких и триболошких карактеристика нанокompозита.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Драгана Џунића, дипл. маш. инж., у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара теми пријављене дисертације, одобрене одлуком бр. 01-1/2922-10 од 24. 10. 2013. године, од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

Кандидат је током истраживања користио уобичајену 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 искуство рада у лабораторији, показао способност да овој сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу дефинисања закључака и добијања конкретних и у пракси применљивих резултата.

Опсежна теоријска и експериментална истраживања у овом раду изведена су с циљем да се дође до јединствене методологије разумевања утицаја присуства нано честица у материјалу основе на структурне, механичке и триболошке карактеристике нанокompозита. Добијене су зависности утицаја промене удела и врсте ојачавача на поменуте карактеристике. Поред изведених закључака на основу спроведених испитивања, кандидат је дао предлог и смернице за даља истраживања у овој области.

Докторска дисертација је резултат самосталног рада, а добијени резултати представљају веома значајан допринос знањима везаним за триболошка понашања нанокompозита са металном основом ојачаних керамичким честицама ојачавача.

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

"Анализа процеса трења и хабања нанокompозита са металном основом"

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,
25. маја 2015. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1 Др Мирослав Бабић, ред. проф.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Ужа научна област: Производно машинство, Индустијски инжењеринг



2. Др Александар Венцл, ванред. проф.

Машински факултет, Универзитета у Београду

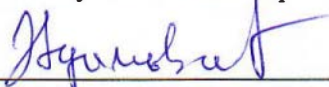
Ужа научна област: Технологија материјала – Трибологија



3. Др Драган Адамовић, ред. проф.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу


Ужа научна област: Производно машинство, Индустијски инжењеринг



4. Др Илија Бобић, научни саветник

Институт за нуклеарне науке Винча

Ужа научна област: Материјали



5. Др Слободан Митровић, ванред. проф. (ментор)

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Ужа научна област: Производно машинство, Индустијски инжењеринг