

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ**

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број: 01-1/867-12 од 24. 03. 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж. и теме докторске дисертације под насловом:

**„ПОВЕЋАЊЕ ПОУЗДАНОСТИ И НОСИВОСТИ ТАНГЕНЦИЈАЛНО
ОПТЕРЕЂЕНИХ ВЕЗА ПРЕТХОДНОМ ПРИПРЕМОМ КОНТАКТА“**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја о подобности кандидата и теме за докторску дисертацију, која је одобрена за израду одлуком Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1/1211-3 од 17. 04. 2014. године, а на основу Правилника Универзитета у Крагујевцу о пријави, изради и одбрани докторске дисертације, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

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

Докторска дисертација кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж., под називом „Повећање поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта“, представља резултат научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на истраживање могућности повећања поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза применом поступка

претходне припреме контакта. Са аспекта предмета истраживања и добијених резултата, ова докторска дисертација представља јединствен научни рад.

Кандидат је извршио критичку анализу и систематизацију постојећих знања, искустава и научних резултата компетентних светских истраживача из области истраживања ове докторске дисертације. На основу спроведене анализе, предности и недостатака досада коришћених приступа у овој области, као и анализираних метода и модела, кандидат је дефинисао предмет и циљ сопствених истраживања.

Са аспекта истраживачке области и добијених резултата, ова дисертација представља јединствени научни рад на националном нивоу, при чему одређени број елемената, приступа и резултата има општи научни значај.

Кандидат је извршио анализу тренутног стања у области тангенцијално оптерећених веза. Анализирајући литературу која је непосредно у вези са овом облашћу, уочио је да постоји простор за повећање поузданости и носивости тангенцијано оптерећених веза применом поступка претходне припреме контактне површине. Кандидат предлаже методу којом би се непосредно пре процеса стезања извела претходна припрема контакта у зонама блиским почетној висини неравнина контактних површина. Тиме би контактне површине већ биле припремљене, па би се стезање svelo на процес који захтева ниже вредности нормалних оптерећења контактне зоне.

Кандидат предлаже специјално конструкционо решење стезача који пружају могућност претходне припреме контактне површине. Испитивања су урађена у динамичким условима на посебно пројектованом систему за испитивање поузданости и носивости тангенцијано оптерећених веза претходном припремом контакта. Испитивања су спроведена кроз поређење тангенцијалне носивости класичног стезача са равном контактном површином и специјалне геометрије. Као основни критеријум за оцену носивости тангенцијално оптерећених веза кандидат предлаже однос тангенцијалне силе и нормалне силе које делују у зони контакта F_t/F_n , посматран у оквиру исте попустљивости зоне контакта. Поред тога, кандидат предлаже и методологију за поређење поузданости испитиваних контактних елемената.

На основу резултата до којих је дошао кандидат, може се закључити да све испитиване геометрије специјалног стезача имају изражену предност у односу на испитивани стезач класичног типа (стезач са равном контактном површином).

Резултати и закључци ове дисертације отварају простор и правце за даља истраживања у овој научној области. Пре свега кроз развој нових решења и оптимизацију геометрије стезача са аспекта постизања максималних односа F_t/F_n . Даљи развој може ићи у правцу пројектовања и оптимизације стезача предложеног типа са аспекта критеријума индустријске примене. Као критеријум индустријске примене првенствено би требало размотрити могућност имплементације техничког решења стезача у постојеће савремене конструкције стезних прибора, као што су: модуларни,

групни и специјални прибори намењени обради на обрадним центрима, петоосним и хибридним машинама.

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

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж., под називом „**Повећање поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта**“ представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна, посебно ако се има у виду да су тангенцијално оптерећене везе веома заступљене у индустријској пракси. Код великог броја ових веза спољашње оптерећење се уравнотежава силама трења које делују између контактних елемената. Вредности коефицијената трења за случај контакта равних површина материјала израђених од челика су релативно мале. То наводи на закључак да је за уравнотежавање тангенцијалног оптерећења помоћу силе трења потребно обезбедити релативно велика нормална оптерећења контактне зоне. У циљу повећања тангенцијалне носивости контакта, као и повећања поузданости контакта, кандидат предлаже поступак стезања коме ће претходити поступак претходне припреме контакта.

Оригиналност научног рада, истраживања и остварених резултата у оквиру ове докторске дисертације огледа се, између осталог, у следећим елементима:

- Извршена су оригинална теоријска истраживања и постављен одговарајући теоријски модел стезања коме претходи поступак претходне припреме контакта.
- Изведени су нумерички прорачуни применом методе коначних елемената (МКЕ) и добијени резултати који потврђују и идеју истраживања и развијени теоријски модел.
- На бази теоријских разматрања и анализе применом МКЕ предложени су нови специјално дизајнирани стезачи, као и специјалан уређај за испитивање на коме је било могуће извршити испитивања тангенцијалне носивости у динамичким условима.
- Анализом добијених резултата везаних за померања и попустљивости у зони контакта у функцији односа F_t/F_n може се закључити да све испитиване геометрије специјално дизајнираног стезача имају изражену предност у односу на испитивани стезач класичног типа – стезач са равном контактном површином.

Део резултата истраживања добијених током израде докторске дисертације објављен је у истакнутим светским часописима, што потврђује оригиналност предметне дисертације.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одговарајућој научној области

Бојан (Света) Богдановић је рођен 25.09.1982. године у Свилајнцу, Република Србија. Основну школу „Јован Јовановић Змај“ је завршио у Свилајнцу, а средњошколско образовање је стекао у средњој војној школи у Београду на смеру за Електронско извиђање и противелектронска дејства. Машински факултет (сада Факултет инжењерских наука) у Крагујевцу уписао је школске 2003/2004. године, а дана 01.12.2011. године завршава студије на поменутом факултету на смеру Машинске конструкције и механизација са општим успехом 7,42 (седам и 42/100) у току студија, и оценом 10 (десет) на дипломском испиту из предмета Методе конструисања код проф. др Ненада Марјановића. Тиме стиче звање дипломирани инжењер машинства.

На јавном наградном конкурс у „Петар Дамјановић“ 2007. године освојио је прво место за најбољи рад из области пројектовања, конструисања и техничке документације за машине, уређаје и транспортна средства урађене програмским пакетом AUTODESK Inventor Professional са пројектом мосне дизалице.

Професионалну каријеру започео је као сарадник на Факултету инжењерских наука у Центру за ревитализацију индустријских система којим је руководио проф. др Бранко Тадић.

Године 2007. је радио у предузећу „Unior components“ на позицији конструктора, при чему је обављао послове конструисања алата за пластично деформисање, као и послове на изради техничке документације за поменуте алате.

Кандидат је 2008. године радио у предузећу „PM метал еластик“ на позицији конструктора, при чему је обављао послове конструисања пољопривредних машина и израду техничке документације.

Године 2011. је радио у предузећу „Gomma line“ на позицији конструктора и обављао послове конструисања и израде техничке документације за хидраулична црева.

Кандидат од 2012. године до данас ради у „Hexagon Metrology SPA“ на пословима који су најуже повезани са метрологијом. Ради као инсталатер и сервисер координатних мерних машина и као програмер метролошких софтверских пакета Surfer NT и PC-DMIS.

На Факултету инжењерских наука у Крагујевцу учествује у извођењу вежби из следећих предмета на основним академским студијама:

- CAD/CAM/CAE,
- Производне технологије,
- Мерење и контрола и
- Испитивање машинских конструкција.

Докторске академске студије на Машинском факултету у Крагујевцу, смер Производно машинство, уписао је школске 2011/2012. године. Испите на докторским студијама завршио је са општим успехом 9,83 (девет и 83/100).

Израда докторске дисертације под називом „Повећање поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта“ одобрена је 17. 04. 2014. године.

У досадашњем научно-истраживачком раду Бојан Богдановић је објавио седам научних радова (четири рада у међународним часописима и три рада на међународним конференцијама) и два техничка решења.

Радови у истакнутим међународним часописима (M21)

1. Branko Tadić, Petar M. Todorović, Ognjan Luzanin, Dragomir Miljanić, Branislav M. Jeremic, **Bojan Bogdanović**, Đorđe Vukelić, Using specially designed high-stiffness burnishing tool to achieve high-quality surface finish, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.67, No.1-4, pp. 601–611, ISSN 0268-3768, Doi 10.1007/s00170-012-4508-2, 2013.
2. Branko Tadić, Djordje B. Vukelić, Dragomir Miljanić, **Bojan Bogdanović**, Ivan Macuzić, Igor Budak, Petar Todorović, Model testing of fixture-workpiece interface compliance in dynamic conditions, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 33 No. 1, pp. 76-83, ISSN 0278-6125, Doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.05.004>, 2014.

Радови у међународним часописима (M23)

1. Branko Tadić, **Bojan Bogdanović**, Branislav M Jeremić, Petar M Todorović, Ognjan Luzanin, Igor Budak, Djordje Vukelić, Locating and clamping of complex geometry workpieces with skewed holes in multiple-constraint conditions, Assembly Automation, Vol. 33 No. 4, pp. 386–400, ISSN 0144-5154, 2013.

Радови у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. V. Kočović, S. Mitrović, G. Mihajlović, M. Mijatović, **Bojan Bogdanović**, Đ. Vukelić, B. Tadić, Applications of Friction Stir Processing during Engraving of Soft Materials, Tribology in Industry, Vol. 37, No. 4, pp. 434-439, ISSN: 0354-8996, 2015.

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33)

1. Jeremic, B., Meyer, M., Macuzic, I., **Bogdanovic, B.**, Jeremic, M., Simic, A., Tadic, B., Vukelic, Dj., Fixtures for Horizontal Machining Centers – New Projecting Approach, Journal of Manufacturing Science and Engineering – ASME 2013.

Manufacturing Science and Engineering Conference, June 10-14, 2013, Madison, Wisconsin, USA, 2013.

2. Jeremic, M., Adamovic, D., Mitrovic, S., **Bogdanovic, B.**, Simic, A., Randjelovic, S., Todorovic, P., Influence of oxidation layer generated on preheated contact pairs on static coefficient of friction, The 13th International Conference on Tribology, Kragujevac, Proceeding, ISBN: 978-86-86663-98-6, pp. 147-125, 2013.
3. Jeremic, M., **Bogdanovic, B.**, Simic, A., Miljanic, D., Todorovic, P., Randjelovic, P., Tadic, B., Analyzing the influence of the construction element position on torque transmission by friction, The 13th International Conference on Tribology, Kragujevac, Proceeding, ISBN: 978-86-86663-98-6, pp. 341-347, ISBN: 978-86-86663-98-6, 2013.

Битно побољшан постојећи производ или технологија (уз доказ) ново решење проблема у области микроекономског, социјалног и проблема одрживог просторног развоја рецензовано и прихваћено на националном нивоу (уз доказ) (M84)

1. Б. Тадић, С. Ранђеловић, П. Тодоровић, Ђ. Вукелић, В. Кочовић, **Б. Богдановић**, М. Јеремич, Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице, TP-88-2015, Крагујевац, 2015.
2. С. Ранђеловић, Ђ. Вукелић, П. Тодоровић, В. Кочовић, **Б. Богдановић**, Л. Ивановић, Б. Тадић, Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде, TP-89-2015, Крагујевац, 2015.

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

Докторска дисертација кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж., под називом „**Повећање поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта**“, одговара по обиму и садржају теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Стручног већа Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација.

Резултати истраживања су у писаном делу докторске дисертације изложени на укупно 131 страна. У раду је приказано 76 графичких илустрација, 15 табела и цитирано 107 библиографских навода. Излагање је дато кроз 11 поглавља и 2 додатка:

1. Увод

2. Преглед и анализа литературних извора
3. Теоријске основе носивости тангенцијално оптерећених веза
4. Теоријске основе подизања нивоа носивости и поузданости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта
5. Пројектовање система за испитивање поузданости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта
6. План и програм експерименталних истраживања
7. Резултати експерименталних истраживања
8. Статистичка обрада резултата експерименталних истраживања
9. Анализа резултата
10. Закључци
11. Литература

Додатак А

Додатак Б

У првом поглављу је дато уводно излагање са нагласком на актуелност теме у савременој индустријској пракси и описом проблема који ће бити предмет истраживања у оквиру докторске дисертације. Постављени су циљеви истраживања, као и две хипотезе на којима је базирана дисертација.

У другом поглављу је дат критички осврт на доступне литературне изворе, као и преглед досадашњих истраживања која су урађена у оквиру теме докторске дисертације. Посебно је разматрана попустљивост контакта и анализирани феномени током испитивања у динамичким условима.

Треће поглавље даје теоријске основе носивости тангенцијално оптерећених веза. Даље је извршена детаљна критичка анализа истраживања која разматрају контакт остварен утискивањем специјално дизајнираних стезних елемената. На крају поглавља кандидат, као унапређење постојећих метода, предлаже додатно обртно кретање стезача током стезања у циљу припреме контактне површине.

Теоријске основе повећања носивости и поузданости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта дате су у четвртном поглављу. Дат је идејни приказ специјалног стезног елемента са којим би се претходна припрема контакта изводила његовим закретањем, односно поступком микрорезања. Постављена је претпоставка да ће услед дејства нормалног оптерећења и обртног кретања специјално дизајнираног стезача доћи до његовог продирања у равну површину другог стезног елемента при знатно нижим вредностима нормалне силе, односно силе стезања. Разматра се продирање које је блиско нивоима максималне висине профила храпавости равне површине. У овом поглављу је урађена и нумеричка анализа продирања специјално дизајнираног стезача у елемент са равном контактном површином

применом МКЕ.

У петом поглављу је представљено пројектовано решење уређаја за испитивање поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта. Основни захтеви које је пројектовано решење уређаја морало да испуни су се односили на: спровођење моделских испитивања, спровођење испитивања у динамичким условима и спровођење поступка претходне припреме контакта. Поглавље садржи опис мерне опреме, изглед формираног система за експериментална истраживања, као и резултате провере геометријске тачности израде специјално дизајнираних стезних елемената.

Шесто поглавље даје план и програм експерименталних истраживања. Поглавље систематизује план обимних експерименталних истраживања у пет група експерименталних елемената.

Седмо поглавље садржи резултате експерименталних истраживања. На самом почетку поглавља су дефинисани параметри који ће бити детаљније анализирани: средња вредност тангенцијалне силе, средња вредност померања у зони контакта, попустљивост у зони контакта и др. Вредности анализираних параметара добијене током експерименталних истраживања су дате табеларно. Дати су и резултати мерења параметара храпавости елемента са равном контактном површином, као и квантификација нивоа претходне припреме контакта – табеларно и путем дијаграма са упоредним приказом профила топографије елемента са равном контактном површином.

У осмом поглављу је дата статистичка обрада резултата експерименталних истраживања, односно параметара који су дефинисани у седмом поглављу. С обзиром на то да су испитивања урађена при различитим условима испитивања (различитим вредностима нормалног оптерећења), ради јаснијег прегледа резултата испитивања кандидат предлаже коришћење односа тангенцијалне силе и нормалне силе које делују у зони контакта F_t/F_n . Кандидат предлаже коришћење регресионих једначина које дају зависност: односа F_t/F_n од средњег померања ξ_{sr} и попустљивости s у зони контакта у функцији односа F_t/F_n . Добијене су регресионе једначине са високим степеном корелације. Поглавље садржи и предлог модела за израчунавање поузданости испитиваних типова контактних парова, као и резултате поређења поузданости.

Девето поглавље представља дискусију у којој су коментарисани добијени резултати који су представљени у претходним поглављима.

У десетом поглављу су изведени закључци на основу резултата приказаних у претходним поглављима. Такође су дате препоруке за будуће правце истраживања у предметној области.

Једанаесто поглавље садржи списак коришћених литературних извора.

Додатак А даје дијаграмске приказе резултата мерења тангенцијалне силе и померања у зони контакта током експерименталних истраживања.

Резултати мерења топографије контактних површина су дати у додатуку Б.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Бојан Богдановић, дипл. маш. инж., у оквиру докторске дисертације извршио је систематизацију постојећих знања и искустава у области производног машинства, или уже разматрано, у области повећања поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта. У току израде дисертације, кандидат је дошао до резултата и закључака који имају своје место и значај, како у научно-теоријском тако и у практичном, индустријском смислу. Најважнији научни резултати докторске дисертације:

- изведена су оригинална теоријска истраживања и развијен одговарајући теоријски модел,
- спроведена су претходна испитивања дубине продирања применом МКЕ,
- развијена су конструктивна решења специјалних стезача који пружају могућност претходне припреме зоне контакта – на бази теоријских разматрања и резултата анализе МКЕ,
- дато је комплетно пројектно решење уређаја за експериментална истраживања,
- извршена су обимна експериментална истраживања,
- анализом померања и попустљивости у зони контакта закључено је да све испитиване геометрије специјално дизајнираног стезача имају изражену предност у односу на испитивани стезач класичног типа (стезач са равном контактном површином).

6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж., под називом „**Повећање поузданости и носивости тангенцијално оптерећених веза претходном припремом контакта**“ применљиви су и корисни, како у теорији тако и у пракси.

Може се рећи да је у теоријском смислу унета и теоријски доказана нова идеја стезања базирана на претходној припреми контакта.

Практична примена предложене методе стезања применом поступка претходне припреме контакта се огледа у чињеници да стезачи предложеног типа у односу на испитивани класични стезач, за реално изабрано дозвољено померање контакта у границама $\zeta=2 \mu\text{m}$ до $\zeta=10 \mu\text{m}$, могу уравнотежити 2,5 до 8 пута веће тангенцијално оптерећење. Могућност уравнотежења већих тангенцијалних сила, при истој сили

стежања и истом оствареном померању, омогућава избор већих вредности параметара режима резања, већу производност и/или већу поузданост и стабилност обрадног процеса, у случају да се предложени стезни елементи користе у форми стезних прибора.

7. Начини презентирања резултата научној јавности

Део научних резултата, добијених истраживањем приликом израде ове докторске дисертације, презентован је у научним радовима објављеним у међународним и националним научним часописима, као и на међународним научним скуповима.

Комисија сматра да истраживања и резултати докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даље публикавање у високоранжираним међународним и националним научним часописима, као и на скуповима који се односе на релевантну област.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж., у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара одобреној теми дисертације, одлуком број 01-1/1211-3 од 17. 04. 2014. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу с универзитетским нормама.

У току израде докторске дисертације, кандидат Бојан Богдановић, дипл. маш. инж., дошао је до оригиналних научних резултата, приказаних у дисертацији, који представљају значајан допринос у области производног машинства. Део резултата је публикован у више радова који су објављени у међународним часописима.

Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада и поседује способност системског приступа и коришћења литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање и лично искуство, показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу дефинисања закључака и добијања конкретних и применљивих резултата.


На основу свега претходно наведеног, Комисија за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Бојана Богдановића, дипл. маш. инж., једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

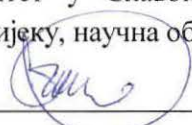
„ПОВЕЋАЊЕ ПОУЗДАНОСТИ И НОСИВОСТИ ТАНГЕНЦИЈАЛНО ОПТЕРЕЂЕНИХ ВЕЗА ПРЕТХОДНОМ ПРИПРЕМОМ КОНТАКТА“


по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава 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.

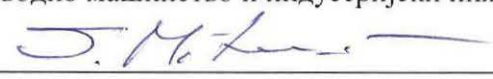
У Крагујевцу, Новом Саду и Славонском Броду
16. 05. 2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. **Др Бранко Тадић, редовни професор – председник комисије**
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, научне области:
производно машинство и индустријски инжењеринг


2. **Др Горан Шимуновић, редовни професор**
Стројарски факултет у Славонском Броду, Свеучилиште Јосипа Јурја Штросмајера у Осигеку, научна област: производно стројарство


3. **Др Ђорђе Вукелић, ванредни професор**
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, научне области:
метрологија, квалитет, еколошко-инжењерски аспекти, алати и прибори


4. **Др Слободан Митровић, ванредни професор**
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, научне области:
производно машинство и индустријски инжењеринг


5. **Др Данијела Милорадовић, доцент**
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, научне области:
моторна возила, друмски саобраћај
