

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ И ВЕЋУ ЗА ДОКТОРСКЕ СТУДИЈЕ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милоша Д. Пјевића, маг. инж. маш. (M.Sc.), студента докторских студија

Одлуком Научно-наставног већа бр. 888/2 од 23.05.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Д. Пјевића под насловом:

„Истраживање утицаја радијуса заобљења врха алата и брзине резања на показатеље квалитета при микро резању материјала на бази мермера и гранита“.

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Милош Д. Пјевић, маг. инж. маш, уписао је Докторске академске студије Машинског факултета Универзитета у Београду школске 2013/2014. године. Положио је испите из свих предмета предвиђених наставним планом и програмом за ниво докторских академских студија са просечном оценом 10,00 (десет).

На основу захтева кандидата бр. 50/1 од 14.01.2019. године, да се прихвати тема и одобри израда докторске дисертације под насловом **„Истраживање утицаја радијуса заобљења врха алата и брзине резања на показатеље квалитета при микро резању материјала на бази мермера и гранита“**, Наставно-научном веће Машинског факултета Универзитета у Београду доноси Одлуку, бр. 127/2 од 07.02.2019. године, да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за подношење реферата о теми докторске дисертације у саставу: др Љубодраг Тановић, ред. проф, др Бојан Бабић, ред. проф, др Александар Седмак, ред. проф, др Михајло Поповић, доц. и др Небојша Гојковић, ред. проф, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду. На основу Извештаја Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације бр. 127/3 од 18.02.2019. године, Наставно-научно веће Машинског факултета Униерзитета у Београду прихватило је научну заснованост теме докторске дисертације Одлуком 127/4 од 21.02.2019. године за ментора је именован проф. др Љубодраг Тановић. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је Одлуком бр. 61206-907/2-19 од 25.03.2019. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Ментор проф. др Љубодраг Тановић је 14.05.2019. године обавештењем бр. 876/1 известио Катедру за производно машинство о завршеној докторској дисертацији кандидата Милоша

Д. Пјевића. С тим у вези, Катедра за производно машинство је Дописом бр. 888/1 од 15.05.2019. године обавестила Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду о завршетку израде докторске дисертације Милоша Д. Пјевића и предложена је Комисија за преглед, оцену и одбрану предметне докторске дисертације. На основу тог дописа, Наставно-научно веће је 23.05.2019. донело Одлуку бр. 888/2 о формирању Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:

- 1) др Љубодраг Тановић, редовни професор, ментор
- 2) др Бојан Бабић, редовни професор,
- 3) др Александар Седмак, редовни професор,
- 4) др Михајло Поповић, доцент,
- 5) др Небојша Гојковић, ред. проф, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београд

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата Милоша Д. Пјевића припада области техничких наука – Машинство, ужа научна област Производно машинство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду. Ментор др Љубодраг Тановић је редовни професор на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 13 радова на SCI листи.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Милош Д. Пјевић је рођен 22.09.1989. године у Ужицу. Завршио је Основну школу „Свети Сава“ и Средњу техничку школу „Јован Жујовић“ у Горњем Милановцу. Машински факултет у Београду уписао је 2008. године. Основне академске студије завршио је 2011. године са просечном оценом 9,71, док је Мастер академске студије завршио 2013. године на Катедри за производно машинство са просечном оценом 9,70. Докторске академске студије уписао је 2013. године. До сада је положио све предмете на Докторским академским студијама са просечном оценом 10,00.

Током студирања често је добијао похвале и награде за изванредне резултате:

- похвала за одличан успех на првој, другој и трећој години Основних академских студија (2009, 2010, 2011);
- похвала за одличан успех на првој и другој години Мастер академских студија (2012, 2013);
- стипендију Фонда за младе таленте Републике Србије “Доситеја” (2011, 2013);
- добитник је награде "Putujemo u Evgoru" од стране невладине организације "Evropski pokret u Srbiji" (2011);
- захвалницу за учешће на конкурс "Петар Дамјановић" (2012);
- уверење о завршеном курсу за коришћење САД софтвера "Autodesk Inventor".

Пре успеса на факултет, Милош Д. Пјевић, свршени средњошколац, радно искуство је започео као машински техничар у фирми Metal – Mont из Горњег Милановца. На овом радном месту био је ангажован у периоду јун - октобар 2009. године, односно до одласка на студије. Током студирања, био је ангажован као студент демонстратор на предмету Инжењерска графика (ОАС) у шк. 2009/2010, 2011/2012. и 2012/2013. години. Од фебруара 2014. године запослен је на Машинском факултету Универзитета у Београду са звањем Асистент, док је у исто звање реизабран у фебруару 2017. године.

Од 2014. године, ангажован је као истраживач на пројекту „Развој нове генерације домаћих обрадних система“ (пројекат број TP-35022), финансираном од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

Кандидат учествује у извођењу вежби на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за производно машинство из предмета на Основним и Мастер академским студијама:

1. Компјутерска графика (ОАС),
2. Технологија машинске обраде (ОАС),
3. Алати и прибори (ОАС),
4. Алати за обликовање лима (МАС),
5. Нове технологије (МАС).

Учествовао је у организацији 39, 40. и 41. ЈУПИТЕР конференције одржане 2014, 2016. и 2018. године. Поред наведеног, учествовао је у обуци студената на курсу за "Autodesk Inventor", организованој од стране Машинског факултета Универзитета у Београду.

Служи се програмима из пакета MS Office Suite, EAGLE PCB design software, CorelDraw, SolidWorks, AutoCAD, Inventor, CATIA, ProDesktop, Creo, MATLAB, Wolfram Mathematica, SolidCAM, ArtCAM, MikroC.

Течно говори енглески језик.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација је документ формата А4, штампан једнострано, написан на српском језику, ћириличним писмом. Дисертација је написана на укупно 150 нумерисаних страна укључујући и Референце (укупно 111 референци на 13 страна), илустрована је са 55 слика и дијаграма, 41 нумерисаних израза и 16 табела. Дисертација је изложена у оквиру 12 поглавља:

1. Увод
2. Преглед стања истраживања у области микро резања кртих материјала
3. Механизам микро резања кртих материјала
4. Методологија и извођење експеримената микро резања кртих материјала
5. Утискивање при статичком дејству силе
6. Силе током процеса микро резања
7. Топографија обрађене површине и критична дубина продирања
8. Специфична енергија микро резања
9. Математички модел компонената силе резања F_n и F_t
10. Закључак
11. Будућа истраживања
12. Литература

На почетку рада је дат Списак ознака, као и продужени резиме на српском и енглеском језику, док су на крају дати биографски подаци кандидата.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

Текст докторске дисертације организован је кроз десет основних поглавља међу којима се налази и закључак кроз који је дат сажет осврт на остварене резултате и могућности њихове примене. Такође, поред основних поглавља, налазе се и два додатна поглавља, поглавље Будућа истраживања и поглавље Литература.

У *првом поглављу*, које уједно представља и уводно поглавље докторске дисертације, објашњена је проблематика која се односи на обраду материјала на бази камена, одакле је проистекла идеја за предмет и циљ ове докторске дисертације. У њему су, такође, представљене и полазне хипотезе на којима су се засновала изведена истраживања, као и њихова ограничења.

Друго поглавље садржи преглед досадашњих истраживања спроведених у домену микро резања кртих материјала са аспекта интеракције алат – материјал, режим обраде и квалитет обрађене површине. Управо захваљујући поменутиим истраживањима, постављена је основа одакле се кренуло са израдом ове докторске дисертације и правац њеног одвијања.

Феномени механизма уклањања материјала, како код методе утискивања утискивача при статичком дејству силе, тако и при микро резању дијамантским алатом, дати су у *трећем поглављу*. У овом поглављу је објашњен утицај геометрије врха алата на процес микро резања и приказан је механизам сила које делују у зони контакта. Специфична геометрија врха алата која се јавља при микро резању доводи до промене вредности грудног угла, па самим тим и напонског стања унутар материјала, на шта је посебно наглашено у овом поглављу.

У *четвртом поглављу* спроведена је експериментална верификација механизма уклањања материјала при обради дијамантским алатом, методом утискивања утискивача при статичком дејству силе, као и методом микро резања. Детаљно је дат опис експерименталних поставки и планова експеримената на основу којих су експерименти спроведени.

Утискивање при статичком дејству силе тема је истраживања *петог поглавља*. Представљени су резултати експеримената утискивања утискивача при статичком дејству силе према претходно дефинисаном плану. Коришћени су материјали гранит Јошаница, гранит Буковик и мермер Плави ток. Одређен је састава испитиваних материјала као и њихове тврдоће. Установљене су зависности настанка прелина унутар материјала у функцији од дубине продирања утискивача, као и вредности критичних дубина продирања, при којима прелине настају код испитиваних материјала.

Шесто поглавље се односи на сам експеримент микро резања, прецизније на силе које се јављају у процесу микро резања. Утврђена је зависност нормалне F_n и тангенцијалне F_t компоненте силе резања у функцији брзине микро резања v_s , дубине продирања алата у материјал a , као и радијуса заобљења врха алата r , за сва три испитивана материјала. Такође, дато је појашњење трендова промене вредности сила.

У *седмом поглављу* спроведена је микроскопска опсервација формираних трагова микро резања коришћењем алата са дијамантским врхом. Спроведено је и мерење геометрије формираних жљебова, с циљем верификације представљеног механизма микро резања датог у трећем поглављу. У седмом поглављу, такође, одређене су и критичне дубине продирања алата, односно позиције преласка из дуктилног у режим кртог лома, за сва три испитивана материјала у функцији брзине микро резања v_s , као и радијуса заобљења врха алата r .

Формиране криве специфичне енергије микро резања за све случајеве материјала, брзина и алата, које су обухватили експерименти микро резања, дате су у *поглављу осам*.

Основу *деветог поглавља* чини успостављање математичког модела компонената силе резања, као и одређивање параметара обрадљивости који фигуришу у формираном моделу. Поред овога, дата је и графичка репрезентација формираних математичких модела предикције сила у зони микро резања чија се одступања налазе у дозвољеним границама од реалног стања за сва три материјала.

У *десетом поглављу* изведени су закључци истраживања спроведених у овој докторској дисертацији на основу добијених резултата. У њему су наведени научни и стручни доприноси до којих се дошло током израде и завршетка докторске дисертације.

Осврт на потенцијалне правце будућих истраживања представљен је у *поглављу једанаест*.

У последњем, *дванаестом поглављу*, представљена је литература која је коришћена и наведена током израде докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под називом „**Истраживање утицаја радијуса заобљења врха алата и брзине резања на показатеље квалитета при микро резању материјала на бази мермера и гранита**“ кандидата Милоша Д. Пјевића представља савремен и оригиналан допринос при проучавању микро резања кртих материјала. Ова дисертација је урађена у оквиру истраживања везаних за пројекте из програма Министарства просвете науке и технолошког развоја Републике Србије са тематиком која је данас актуелна у свету.

У случају микро резања кртих материјала, добијање површине високог квалитета без присуства заосталих прлина представља сложен задатак. Ово је један од главних циљева које водеће светске лабораторије покушавају да достигну. Досадашњи поступак добијања површине таквог квалитета израде се достигао тако што се након брушења дела који је од кртог материјала вршило полирање истог. Помак у обради кртих материјала догодио се када је установљено да се поменути материјали могу обрађивати у режиму пластичног деформисања. На овај начин, не само да је постигнуто добијање површине захтеваног квалитета без присуства заосталих прлина, већ се и елиминисала потреба за накнадном обрадом. Како би се остварила обрада у режиму пластичног деформисања, неопходно је познавање модела настанка струготине, а који је, са једне стране условљен условима обраде, док са друге, материјалом који се обрађује.

Имајући претходно наведено у виду, циљ дисертације представља истраживање интеракције алата и обратка у процесу микро резања кртих материјала на бази камена. Она су обухватала:

- развој методологије за формирање модела деформација и разарања при микро резању базиран на процесу утискивања утискивача при мерењу тврдоће;
- развој стенда за реализацију процеса микро резања и анализу настанка продорних, бочних и радијалних прлина;
- успостављање модела настанка прлина при утискивању утискивача у крте материје;
- дефинисање модела настанка струготине;

- лабораторијску експерименталну верификацију успостављеног модела у домену сила микро резања, пресека струготине и специфичне енергије резања;
- дефинисање критичне дубине продирања алата у материјал којом се раздвајају дуктилни режим и режим кртог лома;
- формирање математичког модела компонената силе резања.

Добијени резултати ових истраживања су оригинални, објављени су у међународним часописима и на међународним конференцијама.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Прегледом цитиране литературе, издвојене у поглављу *Литература*, закључује се да је кандидат Милош Д. Пјевић при изради доктората користио литературу која је референтна и актуелна. У циљу систематизације резултата постојећих истраживања из области која је предмет дисертације, кандидат је навео све значајне референце које за тему имају микро резање кртих и тешко обрадљивих материјала.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Имајући у виду свеобухватност и комплексност теме примењене су следеће методе истраживања:

- метода анализе;
- метода синтезе;
- методе планирања експеримената, аквизиције и дигиталне обраде сигнала;
- специфичне методе симулације виртуелних обрадних система;
- CAD/CAM за пројектовање машинских делова и технологија за њихову израду;
- методе за емпиријску идентификацију параметара у моделима сила резања;

3.4 Применљивост остварених резултата

Главни резултати ове дисертације су: успостављени модели обраде при микро резању материјала на бази мермера и гранита, како у дуктилном, тако и у режиму кртог лома, успостављени модели сила резања које се јављају током микро резања кртих материјала, успостављене криве специфичних енергија микро резања за све изабране типове материјала на бази мермера и гранита, одређена вредност критичне дубине продирања којом се раздваја режим пластичног деформисања од режима кртог лома у функцији геометрије алата и брзине микро резања. Сви ови резултати су верификовани кроз већи број реализованих експеримената.

Резултати до којих се дошло експерименталним путем током истраживања у овој докторској дисертацији од кључне су важности за ефикасно успостављање микро резања материјала на бази мермера и гранита у индустрији обраде ових материјала. Такође, обрада ових материјала у режиму пластичног деформисања којим се елиминише настанак свих неправилности у зони резања у виду неравнина и заосталих прслина, омогућена је применом добијених резултата за задате услове.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да је кандидат Милош Д. Пјевић кроз рад на предметној дисертацији показао да може успешно да решава научне проблеме у области микро резања кртих и тешко обрадљивих материјала примењујући савремене научно-истраживачке методе. Кандидат је извршио велики број експеримената, прорачуна и анализу одговарајућих резултата.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

У оквиру рада на дисертацији „**Истраживање утицаја радијуса заобљења врха алата и брзине резања на показатеље квалитета при микро резању материјала на бази мермера и гранита**“ кандидат Милош Д. Пјевић је потврдио и проширио постојећа знања у области микро резања кртих и тешко обрадљивих материјала, као што су материјали на бази мермера и гранита, па тиме и ова докторска дисертација представља научни допринос у области производног машинства.

Научни доприноси предметне дисертације су:

- успостављање модела обраде при микро резању више типова материјала на бази мермера и гранита у оба описана режима који представљају дуктилни и режим кртог лома. Овај научни допринос је потврђен публикавањем у раду [1] из категорије М23 и радовима [5-7] (одељак 4.3 Верификација научних доприноса);
- примењене и развијене нумеричко-експерименталне методе за потребе ефикасне идентификације сила резања, развијене процедуре дефинисања планова експеримената и извођење експеримената за потребе верификације и успостављање модела сила резања које се јављају током микро резања. Овај научни допринос је потврђен публикавањем у раду [1] из категорије М23 и радовима [2-4] (одељак 4.3 Верификација научних доприноса).

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

При обради кртих материјала, неопходно је прећи са нивоа макро на ниво микро обраде, при чему је неопходно дефинисање механизма микро резања који важе и за материјале на бази мермера и гранита. Ови материјали имају изразито хетерогену структуру, па у зависности од типа минерала који улазе у њихов састав, њихова тврдоћа може знатно варирати, што је представљало изазов приликом успостављања модела микро резања ових материјала.

Изведена истраживања дефинишу интеракцију дијамантског врха (резног сечива) са обрађиваним материјалом обухватајући: геометрију алата, ефективну вредност грудног угла на силе микро резања. Овиме се постављају поуздани услови при којима је могуће остварити микро обраду материјала на бази мермера и гранита у режиму пластичног деформисања, самим тим и постизање површине захтеваног квалитета без накнадне обраде којом би се уклониле све евентуалне неправилности као последица кртог разарања материјала (грешке претходне обраде).

Експериментални резултати показују да су успешно превазиђене све препреке у решавању врло комплексног проблема који карактеришу процес микро обраде разматраних материјала.

4.3 Верификација научних доприноса

Кандидат Милош Д. Пјевић је кроз усавршавање и рад на више научних и стручних пројеката био аутор и коаутор 19 радова на домаћим и међународним скуповима и у часописима. Коаутор је два Техничка решења и већег броја инсталација намењених унапређењу наставе и актуелним истраживањима.

Научни допринос докторске дисертације је верификован у следећим радовима објављеним у референтним међународним и домаћим научним часописима и на престижним конференцијама у земљи и иностранству:

Категорија M23:

- [1] **Pjević, M.**, Tanović, L., Mladenović, G., Marković, B., Experimental Examination of the Impact of Tool Radius on Specific Energy in Microcutting of Granite. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 139(4), 041004, DOI: 10.1115/1.4036585, 2017. (**IF=0.828**)(DOI: 10.1115/1.4036585)

Категорија M31:

- [2] **Pjević, M.**, Tanović, Lj., EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF MATERIAL REMOVAL MECHANISMS DURING MICRO CUTTING STONE BASED MATERIALS, *XIV International Conference Maintenance and Production Engineering „KODIP - 2017“*, Proceedings, ISBN 978-9940-527-51-8, pp.11-16, Engineering Academy of Montenegro, Budva, 14st - 17st June, 2017.

Категорија M33:

- [3] **Pjević, M.**, Tanović, L., & Vučetić, F., Experimental Determination of Brittle Fracturing Appearance During Static Indentation of Materials Based on Stone, *In International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies*, Springer, Cham, ISBN 978-3-319-56430-2, pp. 177-184, June, 2017.

Категорија M34:

- [4] **Pjević, M.**, Popović, M., Tanović, Lj., Mladenović, G., Experimental examinations of machinability of ceramic materials during micro processing, *22nd European Conference on Fracture - ECF22, The Book Of Abstracts*, ISBN 978-86-900686-0-9, pp.131-131, Society for Structural Integrity and Life – Prof. Dr Stojan Sedmak (DIVK), Belgrade, Serbia, 26st-31st August, 2018.

Категорија M63:

- [5] **Pjević, M.**, Tanović, Lj., Pregled stanja istraživanja u domenu mikro-rezanja krtih materijala, *XIII Međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering “KODIP - 2015”*, Zbornik radova, ISBN 978-9940-669-01-0, s.21-s.26, Inženjerska akademija Crne Gore, Budva, 24-28 juna, 2015.
- [6] **Pjević, M.**, Tanović, Lj., Ćosović, V., Eksperimentalna identifikacija uticaja geometrije alata na bočno razaranje materijala kod mikro rezanja mermera, *The 3rd International Scientific Conference, COMETA2016 – Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications, Proceedings*, ISBN 978-99976-623-7-8, pp.229-236, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, East Sarajevo, 7th – 9th December, 2016.
- [7] **Pjević, M.**, Tanović, Lj., Mladenović, G., Uticaj putanje alata na kritičnu dubinu prodiranja kod mikrorezanja krtih materijala, *XL JUPITER konferencija, 36. Simpozijum NU * ROBOTI * FTS, Zbornik radova na CD-u*, ISBN 978-86-7083-893-2, s.3.33-3.38, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 17-18 maj, 2016.

5. ЗАКЉУЧАК

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „**Истраживање утицаја радијуса заобљења врха алата и брзине резања на показатеље квалитета при микро резању материјала на бази мермера и гранита**“, кандидата Милоша Д. Пјевића, маг. инж. маш, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да урађена дисертација представља оригиналан научни допринос у проучавању микро резања материјала на бази мермера и гранита, да је дисертација написана према свим стандардима научно-истраживачког рада и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да прихвати овај Извештај, да дисертацију „**Истраживање утицаја радијуса заобљења врха алата и брзине резања на показатеље квалитета при микро резању материјала на бази мермера и гранита**“ кандидата Милоша Д. Пјевића, маг. инж. маш, заједно са овим Извештајем стави на увид јавности у складу са законским одредбама, и да потом целокупни материјал упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд, 05.06.2019.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Љубодраг Тановић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Бојан Бабић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Александар Седмак, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Михајло Поповић, доцент
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Небојша Гојковић, редовни професор
Универзитета у Београду, Рударско - геолошки факултет