

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

127/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)21.02.2019.
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РАДИЈУСА ЗАОБЉЕЊА ВРХА АЛАТА И БРЗИНЕ РЕЗАЊА НА ПОКАЗАТЕЉЕ КВАЛИТЕТА ПРИ МИКРО РЕЗАЊУ МАТЕРИЈАЛА НА БАЗИ МЕРМЕРА И ГРАНИТА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Производно машинство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: МИЛОШ (ДРАГАН) ПЈЕВИЋ2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 2013.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2013.Обавештавамо Вас да је _____
Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 21.02.2019
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -

Број: 127/4

Датум: 21.02.2019. године

Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Милоша Пјевића**, маг. инж. маш., бр. 50/1 од 14.01.2019. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије 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., РГФ Београд, број 127/3 од 18.02.2019. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета (број 1450/4 од 14.06.2018. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 21.02.2019. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **МИЛОШ ПЈЕВИЋ**, маг. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РАДИЈУСА ЗАОБЉЕЊА ВРХА АЛАТА И БРЗИНЕ РЕЗАЊА НА ПОКАЗАТЕЉЕ КВАЛИТЕТА ПРИ МИКРО РЕЗАЊУ МАТЕРИЈАЛА НА БАЗИ МЕРМЕРА И ГРАНИТА»**.

За ментора студенту **МИЛОШУ ПЈЕВИЋУ**, именује се **др Љубодраг Тановић, ред. проф.**

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ЗА ДОКТОРСКЕ СТУДИЈЕ

Предмет: Подобност теме и кандидата за израду докторске дисертације студента докторских студија Милоша Д. Пјевића, маг. инж. маш. (M.Sc.).

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду број 127/2 од 07.02.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Милоша Д. Пјевића, студента Докторских студија на Машинском факултету у Београду, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме:

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

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Биографски подаци

Милош 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 Evropu" од стране невладине организације "Evropski pokret u Srbiji" (2011);
- захвалницу за учешће на конкурс "Петар Дамјановић" (2012);
- уверење о завршеном курсу за коришћење CAD софтвера "Autodesk Inventor".

Пре усписа на факултет, Милош 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 ТР-35022), финансираном од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, под називом.

Кандидат учествује у извођењу вежби на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за производно машинство. До сада је ангажован на извођењу вежби из пет 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.

Табела 1. Списак положених испита на Докторским академским студијама

Редни број	Семестар	Предмет - испит	ЕСПБ	Оцена
1.	1	Виши курс математике	5	10 (десет)
2.	1	Нумеричке методе	5	10 (десет)
3.	1	ОМНИР (организација и методе научно – истраживачког рада) и комуникације	5	10 (десет)
4.	1	Аквизиција и обрада експерименталних података	5	10 (десет)
5.	1	Истраживање и публикување 1	10	10 (десет)
6.	2	Одабрана поглавља из механике	5	10 (десет)
7.	2	CAD/CAM системи и интеграција пројектовања производа и технологија	5	10 (десет)
8.	2	Теорија резања	5	10 (десет)
9.	2	Истраживање и публикување 2	15	10 (десет)
10.	3	Теорија и симулација процеса обраде	5	10 (десет)
11.	3	Речунарска механика лома	5	10 (десет)
12.	3	Истраживање и публикување 3	20	10 (десет)
13.	4	Истраживање и публикување 4	8	10 (десет)

14.	4	Пројекат идеје докторске дисертације	22	10 (десет)
-----	---	--------------------------------------	----	------------

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

У оквиру Докторских академских студија на Машинском факултету у Београду кандидат је положио све, планом предвиђене испите, са просечном оценом 10,00 (десет). На овај начин је остварио укупних 120 ЕСПБ и испунио основни услов да пријави докторску дисертацију.

Активни је учесник на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ТР-35022 под називом Развој нове генерације домаћих обрадних система. Аутор је и коаутор 20 научно-стручних радова (категорија М20 – 2 публикације, категорија М30 – 8 публикација, категорија М50 – 1 публикација, категорија М60 – 7 публикација и категорија М80 – 2 публикације).

Истраживања спроведена у оквиру докторске дисертације публикована су у 7 научно-стручних радова:

- [1] **Pjević, M.**, Tanović, Lj., Pregled stanja istraživanja u domenu mikro-rezanja krutih 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. → **M63**
- [2] **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. → **M63**
- [3] **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. → **M63**
- [4] **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. → **M23**
- [5] **Pjević, M.**, Tanović, Lj., EXPERIMENTAL INDENTIFICATION 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. → **M31**
- [6] **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. → **M33**
- [7] **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

У раду [1] представљен је преглед стања истраживања у области микро резања кртих материјала. У оквиру поменутог рада, истакнути су утицајни фактори на основу којих се микро резање, у великој мери, може диференцирати од макро резања. Имајући у виду доминантну улогу вредности радијуса заобљења врха алата на интензитет разарања кртих материјала током процеса микро резања, испитивања базирана на експерименталној идентификацији утицаја геометрије алата на бочно разарање материјала приликом микро резања мермера, објављена су у следећем раду [2]. На основу анализе прегледа стања истраживања, која су, такође, представљена у раду [1], познато је да се код микро резања кртих материјала јавља, како режим пластичног деформисања, тако и режим кртог лома. Поред геометрије алата, структуре материјала и режима обраде, на критичну дубину продирања, која представља границу између ова два режима, утиче и путања алата. Даљим истраживањима, у раду [3], приказан је утицај путање алата на вредност критичне дубине продирања. Уз праволинијску и лучну путању алата, представљена је и елиптична путања, као и систем држача алата који обезбеђују елиптично кретање алата. На основу горенаведеног, да је критична дубина продирања у функцији од геометрије алата, структуре материјала и режима обраде, експериментална идентификација критичне дубине продирања у функцији од геометрије алата и брзине микро резања, за граните *Јошаница* и *Буковик*, представљена је у раду [4]. У истом раду, одређиване су вредности компонената силе резања при наведеним условима, као и вредности специфичне енергије микро резања за оба материјала. Од тренутка преласка режима пластичног деформисања на режим кртог лома, материјал почиње да се уклања захваљујући његовом разарању. Међутим, у зависности од структуре и својстава материјала који се обрађују, механизам стварања струготине може се разликовати. Истраживањима, објављеним у раду [5], детаљно су представљени механизми стварања струготине за материјале на бази мермера (*Плави ток*) и гранита (*Јошаница* и *Буковик*). У циљу поистовећивања процеса утискивања утискивача у материјал са процесом микро резања спроведена су испитивања, која су, једним делом, представљена у раду [6]. Анализа обрадљивости материјала на бази керамике на нивоу микро резања, спроведена је кроз експериментална истраживања којима је установљена критична дубина продирања, као и вредности компонената силе микро резања. Добијена сазнања објављена су у раду [7].

Дати библиографски подаци односе се на све кандидатове резултате, а класификовани су сагласно одредбама Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача.

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Својим досадашњим истраживачким активностима кандидат Милош Д. Пјевић показао је квалитет, заинтересованост и стручност за научни и истраживачки рад. Публиковани и изложени радови у часописима, као и на конференцијама указују на потенцијале кандидата да се бави, како теоријским, тако и сложеним експерименталним истраживањима.

Досадашњи објављени радови и научно-истраживачки рад квалификују кандидата за успешан и ефикасан теоријски и експерименталан рад на предложеној теми.

На основу биографских података кандидата, положених испита на докторским студијама, његових научних и стручних активности, афинитета, исказаног интересовања, као и објављених радова, Комисија сматра да је кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ТЕЗЕ

Радни назив

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

2.1 Предмет истраживања

Примена материјала на бази камена у индустрији све је присутнија у последњој декади. Првенствено се то примећује у гранама индустрије од МЕМС (Micro Electro Mechanical Systems) система, аутомобилске, грађевинске, наменске и осталих. Све већа примена ових материјала може се оправдати њиховим добрим физичко/механичким својствима, попут термичких својстава, тврдоће и крутости. Међутим, тешка обрадљивост ових материјала, која се јавља као последица њихове изразите кртости, представља главну препреку у искоришћењу њихових пуних потенцијала.

При микро резању кртих материјала, настанак струготине пропраћен је феноменом кртог разарања, а не механизмом смицања. Управо из овог разлога, процес одвајања материјала на бази камена није могуће поистоветити са случајем обраде материјала са израженом пластичношћу, као што је случај код обраде челика, алуминијума и његових легура и осталих метала.

На малим дубинама обраде материјала, а које спадају у домен микро резања, модел сила резања није идентичан оном које је представио М.Е. Merchant. Разлог је заобљен врх алата чија је вредност радијуса већа од саме дубине резања, као и ефективна вредност грудног угла који је у функцији од вредности радијуса врха алата и дубине резања.

Истраживања у домену микро резања кртих материјала показала су да се крти материјали могу обрађивати у режиму пластичног деформисања (дуктилном режиму). На овај начин се постиже добијање глатке, прозирне површине без присуства заосталих прслина унутар материјала. Поред овога, предност обраде у дуктилном режиму је и то што не постоји потреба за додатним операцијама обраде, као што је полирање. Са друге стране, недостаци дуктилног режима су ти што услови под којима он настаје нису у потпуности дефинисани, док је његов опсег и даље недовољно истражен и непознат за већину кртих материјала.

Истраживања која су планирана у оквиру предложене докторске дисертације односе се на домен микро резања дијамантским алатом материјала на бази камена. У ширем смислу планира се детаљна анализа интеракције дијамантског алата са више различитих типова материјала на бази камена, како у дуктилном режиму, тако и у режиму кртог лома. У ужем смислу то значи:

- успостављање модела којим је могуће одредити под којим условима ће доћи до преласка из дуктилног у режим кртог лома;
- одређивање утицајних фактора од којих је у функцији вредност опсега постојања дуктилног режима.

2.2 Циљеви истраживања

У случају микро резања кртих материјала, добијање глатке површине без присуства заосталих прслина представља сложен задатак. Ово је један од главних циљева које водеће светске лабораторије покушавају да достигну. Технолошки поступак добијања површине

таквог квалитета израде се достигао тако што се након брушења извршило полирање истог. Оваквим поступцима елиминисале би се све грешке претходне обраде и добијала глатка површина. Искорак 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 глатке површине без присуства заосталих прслина, већ се и елиминише потреба за накнадном обрадом. Како би се остварила обрада у режиму пластичног деформисања, неопходно је потпуно познавање модела настанка струготине, а који је, са једне стране условљен условима обраде, док са друге, карактеристикама материјала 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. Он обухвата:

- развој методологије за формирање модела деформација и разарања при микро резању базиран на процесу утискивања утискивача при мерењу тврдоће;
- развој пилот постројења за реализацију процеса микро резања и анализу настанка продорних, бочних и радијалних прслина;
- успостављање модела настанка прслина 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.

2.3 Преглед литературе релевантне за предложену тему дисертације

Основни извори који ће се користити приликом израде дисертације су:

- [1] R. Anton and G. Subhash, "Dynamic vickers indentation of brittle materials," *Wear*, vol. 239, no. 1, pp. 27–35, 2000.
- [2] D. Ghosh, G. Subhash, T. S. Sudarshan, R. Radhakrishnan, and X. L. Gao, "Dynamic indentation response of fine—grained boron carbide," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 90, no. 6, pp. 1850–1857, 2007.
- [3] B. Chiaia, "Fracture mechanisms induced in a brittle material by a hard cutting indenter," *International Journal of Solids and structures*, vol. 38, no. 44, pp. 7747–7768, 2001.
- [4] A. Chandra, K. Wang, Y. Huang, G. Subhash, M. H. Miller, and W. Qu, "Role of unloading in machining of brittle materials," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 122, no. 3, pp. 452–462, 2000.
- [5] D. Ghosh, G. Subhash, R. Radhakrishnan, and T. S. Sudarshan, "Scratchinduced microplasticity and microcracking in zirconium diboride–silicon carbide composite," *Acta Materialia*, vol. 56, no. 13, pp. 3011–3022, 2008.

- [6] M. Zhou, X. J. Wang, B. K. A. Ngoi, and J. G. K. Gan, "Brittle–ductile transition in the diamond cutting of glasses with the aid of ultrasonic vibration," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 121, no. 2, pp. 243–251, 2002.
- [7] J. Gan, X. Wang, M. Zhou, B. Ngoi, and Z. Zhong, "Ultraprecision diamond turning of glass with ultrasonic vibration," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 12, pp. 952–955, 2003.
- [8] K. Liu, X. P. Li, M. Rahman, and X. D. Liu, "Study of ductile mode cutting in grooving of tungsten carbide with and without ultrasonic vibration assistance," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 24, no. 5-6, pp. 389–394, 2004.
- [9] M. Zhou, Y. T. Eow, B. K. A. Ngoi, and E. N. Lim, "Vibration-assisted precision machining of steel with pcd tools," *Materials and manufacturing processes*, vol. 18, no. 5, pp. 825–834, 2003.
- [10] V. I. Babitsky, A. N. Kalashnikov, and F. V. Molodtsov, "Autoresonant control of ultrasonically assisted cutting," *Mechatronics*, vol. 14, no. 1, pp. 91–114, 2004.
- [11] M. Jin and M. Murakawa, "Development of a practical ultrasonic vibration cutting tool system. *journal of materials processing technology*," *Journal of materials processing technology*, vol. 113, no. 1, pp. 342–347, 2001.
- [12] E. Shamoto, N. Suzuki, T. Moriwaki, and Y. Naoi, "Development of ultrasonic elliptical vibration controller for elliptical vibration cutting," *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 327–330, 2002.
- [13] J. S. Lee, D. W. Lee, Y. H. Jung, and W. S. Chung, "A study on micro-grooving characteristics of planar lightwave circuit and glass using ultrasonic vibration cutting," *Journal of materials processing technology*, vol. 130, pp. 396–400, 2002.
- [14] N. Suzuki, M. Haritani, J. B. Yang, R. Hino, and E. Shamoto, "Elliptical vibration cutting of tungsten alloy molds for optical glass parts," *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 56, no. 1, pp. 127–130, 2007.
- [15] C. Ma, E. Shamoto, T. Moriwaki, and L. Wang, "Study of machining accuracy in ultrasonic elliptical vibration cutting," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 44, no. 12-13, pp. 1305–1310, 2004.
- [16] C. Ma, E. Shamoto, T. Moriwaki, Y. Zhang, and L. Wang, "Suppression of burrs in turning with ultrasonic elliptical vibration cutting," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, no. 11, pp. 1295–1300, 2005.
- [17] N. Suzuki, H. Yokoi, and E. Shamoto, "Micro/nano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting," *Precision Engineering*, vol. 35, no. 1, pp. 44–50, 2011.
- [18] X. Li and D. Zhang, "Ultrasonic elliptical vibration transducer driven by single actuator and its application in precision cutting," *Journal of materials processing technology*, vol. 180, no. 1, pp. 91–95, 2006.
- [19] X. Li and D. Zhang, "Ultrasonic elliptical vibration transducer driven by single actuator and its application in precision cutting," *Journal of materials processing technology*, vol. 180, no. 1, pp. 91–95, 2006.

- [20] F. Z. Fang, H. Wu, and Y. C. Liu, "Modelling and experimental investigation on nanometric cutting of monocrystalline silicon," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, no. 15, pp. 1681–1686, 2005.
- [21] S. M. Son, H. S. Lim, and J. H. Ahn, "Effects of the friction coefficient on the minimum cutting thickness in micro cutting," *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 45, no. 4-5, pp. 529–535, 2005.
- [22] X. Lai, H. Li, C. Li, Z. Lin, and J. Ni, "Modelling and analysis of micro scale milling considering size effect, micro cutter edge radius and minimum chip thickness," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 48, no. 1, pp. 1–14, 2008.
- [23] G. Bissacco, H. N. Hansen, and L. De Chiffre, "Micromilling of hardened tool steel for mould making applications," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 167, no. 2-3, pp. 201–207, 2005.
- [24] A. Aramcharoen and P. T. Mativenga, "Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel," *Precision Engineering*, vol. 33, no. 4, pp. 402–407, 2009.
- [25] K. S. Woon, M. Rahman, K. S. Neo, and K. Liu, "The effect of tool edge radius on the contact phenomenon of tool-based micromachining," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 48, no. 12-13, pp. 1395–1407, 2008.
- [26] G. Bissacco, H. N. Hansen, and J. Slunsky, "Modelling the cutting edge radius size effect for force prediction in micro milling," *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol. 57, no. 1, pp. 113–116, 2008.
- [27] T. Zhang, Z. Liu, and C. Xu, "Influence of size effect on burr formation in micro cutting," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 68, no. 9-12, pp. 1911–1917, 2013.
- [28] L. J. Tanovic, P. Bojanic, R. Puzovic, and S. Klimenko, "Experimental investigation of microcutting mechanisms in marble grinding," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 131, no. 6, p. 064507, 2009.

Сва истраживања у области микро резања одвијају се у три основна правца:

- поистовећивање процеса утискивања при статичком и динамичком дејству силе и процеса микро резања;
- испитивање утицаја кинематике процеса микро резања на обрадљивост кртих материјала;
- испитивање утицаја геометрије алата на процес микро резања.

Поистовећивање процеса утискивања при статичком и динамичком дејству силе и процеса микро резања

Како би се појаснили феномени који настају током процеса микро резања, истраживачи су спроводили експерименте утискивања при статичком и динамичком дејству силе и процеса микро резања (гребања) одговарајућим резним алатом. Основни литерарни извори са циљем истраживања облика и начина настанка прслина унутар материјала су [1-5]. Наведени радови, у великој мери, послужили су као основа за даља истраживања у овој докторској дисертацији.

Испитивање утицаја кинематике процеса микро резања на обрадљивост кртих материјала

С обзиром да сама кинематика процеса микро резања утиче на обрадљивост кртих материјала, литерарни извори на основу којих су базирана даља истраживања у оквиру ове теме, а која ће бити спроведена у оквиру докторске дисертације су [6-19].

Испитивање утицаја геометрије алата на процес микро резања

Поред испитивања дејства сила током процеса утискивања/микро резања, као и самог процеса одвајања материјала, истраживања су се усмерила и на испитивање утицаја геометрије алата или утискивача на сам процес микро резања/одвајања материјала. За разлику од макро резања, где су дубине резања знатно веће од вредности радијуса заобљења врха алата, па самим тим његов утицај може бити занемарен, код микро резања то није случај. Заобљење врха алата веома је утицајан фактор који делује на сам процес микро резања, знајући да је вредност његовог радијуса већа од вредности дубине којом алат продире у материјал. Испитивање утицаја геометрије алата на процес микро резања далеко више је истражен на материјалима са израженим пластичним својствима, у односу на материјале који су по својој природи крти. Ово је представљало још једну базу за даља истраживања у оквиру докторске дисертације, а темељено је на наведеним публикацијама [20-27].

Мермер, поред гранита, представља један од најприсутнијих материјала на бази камена са све већом применом у индустрији. Слично као и гранит, по својој природи, мермер је веома крт материјал, хетерогеног састава. У зависности од типа минерала који улазе у састав мермера, његова тврдоћа је варијабилна. У досадашњим истраживањима, мермер се, као и већина других кртих материјала, може обрађивати, како у режиму кртог лома, тако и у режиму пластичног деформисања [28], међутим, до сада је објављен мали број истраживања на ову тему.

На основу наведених досадашњих истраживања, циљеви истраживања у оквиру докторске дисертације, биће базирани са аспекта:

- микро резање као процес,
- вредности интензитета компонената силе резања и математичког модела њихове предикције,
- вредности критичне дубине продирања,
- вредности специфичне енергије микро резања.

2.4 Полазне хипотезе

Доленаведене хипотезе представљале су полазну основу за започињање истраживања у овој докторској дисертацији:

Прва хипотеза: могуће је успоставити аналогију између процеса утискивања утискивача у материјал и микро резања дијамантским алатом.

Друга хипотеза: код материјала на бази мермера и гранита који су хетерогени по свом саставу, присутни су различити механизми обраде.

Трећа хипотеза: могућ је развој модела процеса микро резања материјала на бази камена.

Четврта хипотеза: могућа је верификација постављеног модела на основу експерименталних резултата.

Пета хипотеза: могуће је на дијаграму промене специфичне енергије микро резања у функцији од дубине резања идентификовати границу између дуктилног и режима кртог лома.

2.5 Научне методе истраживања

Имајући у виду свеобухватност и комплексност теме очекује се примена следећих метода 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 идентификацију параметара обрадљивости у моделима сила резања;
- компаративне методе, упоређивање експерименталних резултата са резултатима нумеричких симулација

2.6 Очекивани научни допринос

Према постављеним хипотезама, очекивани научни доприноси истраживања у овој дисертацији су:

- успостављање модела обраде при микро резању више типова материјала на бази камена, како у дуктилном, тако и у режиму кртог лома;
- успостављање модела сила резања које се јављају током микро резања кртих материјала.

2.7 Очекивани стручни резултати

Поред научних резултата, очекују се и стручни резултати који могу бити драгоцени научној и стручној јавности у даљим истраживањима у овој области. Као основни стручни резултати наводе се:

- специфична енергија микро резања за све изабране типове материјала на бази камена;
- вредност критичне дубине придирања којом се раздваја дуктилни режим од режима кртог лома у функцији од геометрије алата.
- развијени физичко-механички модели омогућиће њихову практичну имплементацију при обради различитих материјала на бази камена у циљу унапређења квалитета обраде, односно смањења утрошка енергије

3. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Анализом пријаве кандидата Милоша Д. Пјевића, маг. инж. маш, Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме, закључује да је предложена тема одговарајућа, актуелна и да у потпуности испуњава услове за израду докторске дисертације, као и да доприноси оригиналном научном доприносу у истраживањима која се односе на домен микро резања. Кандидат испуњава све Законом и Статутом Машинског факултета предвиђене услове и има истраживачке квалификације за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу за докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату, студенту докторских студија Машинског факултета универзитета у Београду, Милошу Д. Пјевићу, мастер инжењеру машинства, одобри израду 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“

Тема припада научној области техничких наука, машинство и ужој научној области „Производно машинство“, за коју је Машински факултет матичан. За ментора ове докторске дисертације предлаже се проф. др Љубодраг Тановић, редовни професор на катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 18.02.2019.

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме ментора: **Љубодраг Тановић**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Tanovic, L. J., Bojanic, P., Puzovic, R., & Milutinovic, M. (2011). Experimental investigation of microcutting mechanisms in granite grinding. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 133(2), 024501, doi: <https://doi.org/10.1115/1.4003521>, IF 0,727
2. Tanovic, L., Bojanic, P., Popovic, M., Belic, Z., & Trifkovic, S. (2012). Mechanisms in oxide-carbide ceramic BOK 60 grinding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(9-12), 985-989, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3449-5>, IF 1,205
3. Kolmakov, A. G., Antipov, V. I., Klimenko, S. A., Manokhin, A. S., Kopeikina, M. Y., Tkach, V. N., ... & Tanovich, L. (2013). Structure, properties, and applications of ceramic composite produced of nanostructured powders of composition $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$. *Journal of Superhard Materials*, 35(6), 399-407, doi: <https://doi.org/10.3103/S1063457613060087>, IF 0,654
4. Savićević, S., Vukčević, M., Klimenko, S. A., & Tanović, L. (2017). Impact of cutting elements on forces and roughness of surface during turning hard steel X160 CrMo V12 with CBN tool. *Tehnički vjesnik*, 24(4), 1001-1006, doi: <https://doi.org/10.17559/TV-20161013100743>, IF 0,686
5. Ā urkoviĀ, M., MladenoviĀ, G., TanoviĀ, L., & Danon, G. (2018). Impact of feed rate, milling depth and tool rake angle in peripheral milling of oak wood on the cutting force. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(1), 25-34, doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005001301>, IF 1,014

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
