

# Документација техничког решења

*„Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде“*

Аутори техничког решења:

- Дипл. маш. инж. Саша Ранђеловић, Факултет инжењерских наука Крагујевац
- Др Ђорђе Вукелић, ванредни професор, Факултет техничких наука Нови Сад
- Др Петар Тодоровић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука Крагујевац
- Мас. инж.маш. Владимир Кочовић, Факултет инжењерских наука Крагујевац
- Дипл. маш. инж. Бојан Богдановић, Факултет инжењерских наука Крагујевац
- Др Лозица Ивановић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука Крагујевац
- Др Бранко Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Крагујевац

Кључне речи: Крути алат, куглица, котрљање, оптимизација

Област и научна дисциплина: Машинско инжењерство/Производно машинство

Пројекат у оквиру кога је реализовано техничко решење:

- Програм истраживања у области технолошког развоја за период 2011.- 2015.
- Технолошка област: Машинство
- Руководилац пројекта: др Мирослав Бабић, редовни професор
- Назив пројекта: Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита
- Број пројекта: TR 35021

Наручилац техничког решења:

- Металик д.о.о., Требјешка 6/26, Никшић, Црна Гора

Корисник техничког решења:

- Металик д.о.о., Требјешка 6/26, Никшић, Црна Гора

Година када је техничко решење урађено:

- 2015

## 1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Завршна обрада метала и неметала котрљањем алата по површини предмета обраде је процес обраде на хладно без скидања струготине. Алат који се при томе користи има куглицу, диск или ваљак као радни елемент који је у контакту са материјалом предмета обраде. У зависности од облика радног елемента контакт између алата и предмета обраде је у тачки, односно у околини тачке у случају да се користи куглица, односно по линији у случају да се користи диск или ваљак.

Коришћењем куглице, као радног елемента алата, постижу се виши контактни притисци и то се једноставно може доказати применом *Hertz*-ове теорије о узајамном притиску два тела. Котрљањем радног елемента алата по површини предмета обраде се појављују високи контактни притисци (*Hertz*-ови притисци) који превазилазе вредност напона на граници течења па долази до пластичног течења материјала у површинском слоју. Врхови неравнина, под дејством контактних притисака, почињу да теку, попуњавајући долине у профилу храпавости и размазују текстуру храпаве површине побољшавајући њену глаткост.

На Факултету инжењерских наука у Крагујевцу се од 2011. године врше истраживања завршне обраде метала и неметала коришћењем алата високе крутости за обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде. Са тим у вези је објављено неколико радова у престижним светским часописима и резултати који су постигнути су на завидном нивоу.

У оквиру поменутих истраживања су извршене опсежне анализе постојећих решења алата за обраду котрљањем куглице као и могућности оптимизације процеса. Са тим у вези треба поменути да развој алата за обраду котрљањем куглице захтева имплементацију знања из многих области науке и технике. Да би се креирало савремено решење овакве врсте алата потребно је, поред инжењерских, базично теоријских и информатичких знања, имплементирати и висок ниво теоријских знања и искуства из уске области развоја резних алата, обраде деформисањем и оптимизације производних процеса. Развоју савременог алата пришло се са научног аспекта у многим сферама. Постављени циљ је развој алата за обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде и оптимизација режима производног процеса завршне обраде. Овакво свеукупно решење треба да се пласира на пре свега домаћем тржишту а потом и иностраном.

У првом кораку, на научном нивоу, прикупљен је и обрађен велики број информација везаних за постојећа решења, специфичне захтеве, мишљења и слично. Извршена је анализа свих доступних информација и дошло се до одређених закључака у вези са постојећим конструктивним изведбама алата.

У следећем кораку је конципирано решење алата високе крутости за који се сматра да је у многome повољније у односу на постојећа решења. Извршена је израда прототипа алата високе крутости намењеног за завршну обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде и изведена су многобројна експериментална истраживања.

Оптимизација овакве врсте завршне обраде је веома комплексан проблем.

## 2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Уколико се узме у обзир да постојећа решења алата функционишу на принципу константне силе која се радном елементу саопштава путем опружних механизма или помоћу флуида под притиском онда се оптимизација мора вршити посебно за сваки материјал предмета обраде. Сила којом се постижу оптимални резултати код предмета обраде од једне врсте материјала се односи само на тај материјал. Уколико се оптимална вредност силе примени за другу врсту материјала излазни резултати неће бити максимизовани.

Са овом чињеницом на уму јасно је да је за оптимизацију завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде неопходан веома опсежан рад који ће укључити велики број експеримената за сваки материјал предмета обраде посебно. Неопходно је развити енормно велику базу података која ће у себи садржати информације о веома великом броју различитих материјала и за сваки од њих понављати процес оптимизације. Овакав процес захтева веома пуно времена и захтева веома велики број различитих ресурса почев од самих алатних машина и алата па до небројено много различитих узорака материјала. Ако се све то узме у обзир и ако се има на уму да се константно развијају нови материјали процес оптимизације постаје бесконачни процес.

Међутим, поред силе којом се куглица притиска о површину предмета обраде, која је доминантан фактор који утиче на финалне резултате, постоје и други параметри обраде а то су брзина којом се куглица креће по површини предмета обраде, посмак и број пролаза. Сваки од ових параметара има одређени утицај на резултујућу површину, на пример посмак, најповољнији резултати се постижу са нижим вредностима посмака међутим и то није правило јер у одређеним случајевима се снижавањем вредности посмака не утиче додатно на побољшање површинске храпавости обрађене површине, па чак долази и до погоршања. То се може објаснити самом природом прецеса обраде а то је да врхови неравнина под дејством силе почињу да теку попуњавајући долине у профилу храпавости, међутим ако су два сукцесивна трага кретања куглице блиска може доћи до појаве вишеструког течења материјала па материјал који је већ попунио долине почиње да се прелива бочно и ремети текстуру обрађене површине која је формирана у предходном пролазу алата. Број пролаза такође има утицај на финалну површину и то се пре свега огледа у томе да уколико се прекорачи оптимални број пролаза може доћи до појаве љуштења површинског слоја. Ова појава је пре свега карактеристична за типове алата код којих поред котрљања куглице постоји и извесни ниво клизања.

Многи аутори који су се бавили проблематиком оптимизације овакве врсте завршне обраде су користили различите методе како би скратили време потребно да се процес оптимизације. С тим у вези коришћена је *Taguchi* техника, *RSM (Responce Surface Metodology)* методологија итд. На тај начин се у извесној мери може лимитирати број експеримената потребан да се процес оптимизује али и даље остаје потреба за постојањем базе података у којој ће се све те информације похрањивати.

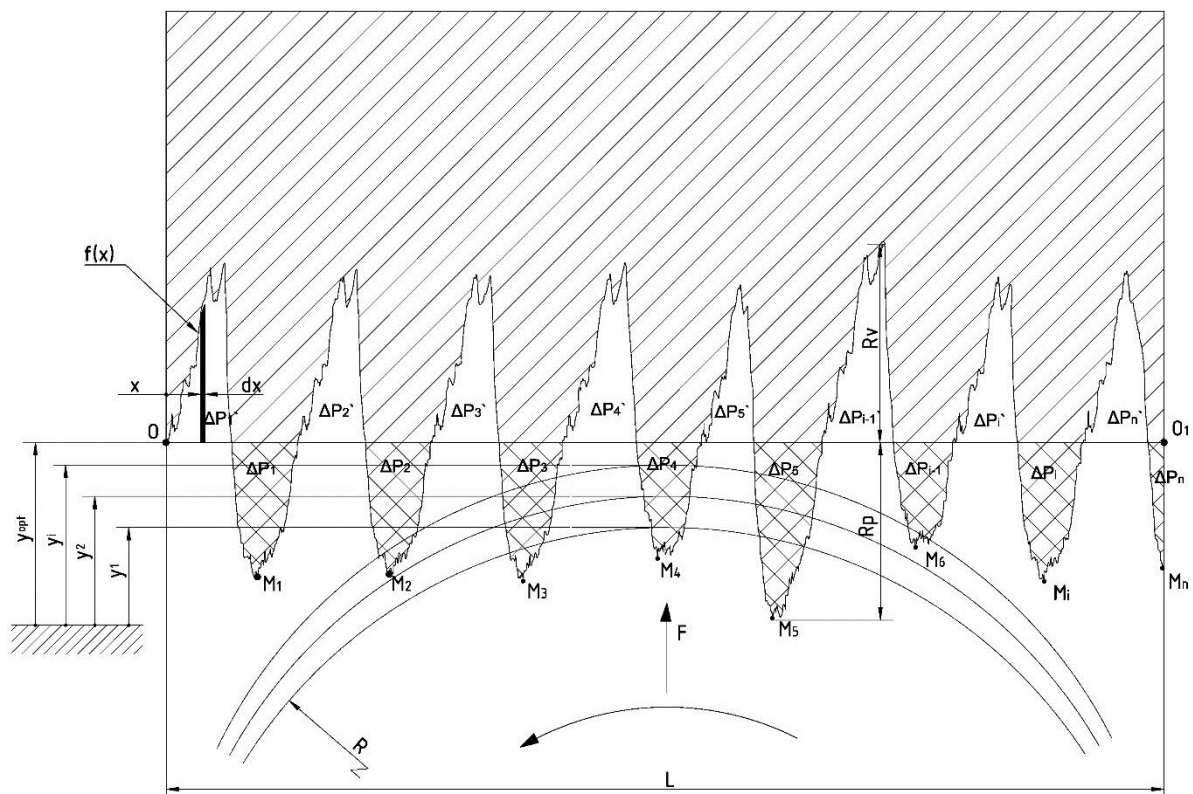
Различити аутори су развили аналитичке моделе првог, другог и виших редова којима се може предвидети финална храпавост површине али и такви модели се могу користити

само за одговарајуће групе материјала. Поред тога увођени су и различити фактори, н.пр. фактор *burnishing*-а, али и даље остаје потреба за извођењем великог броја експеримената.

Уколико се све ово узме у обзир долази се до закључка да уколико се користи алат високе крутости оптимизација може бити урађена на потпуно другачијем принципу. За разлику од алата са опружним механизмом који функционише на принципу константне силе алатом високе крутости се може вршити обрада која функционише на принципу оптималне дубине продирања куглице у материјал предмета обраде.

### 3. Суштина техничког решења

Теоријски се разматра процес обраде котрљањем куглице по површини цилиндричног предмета обраде односно котрљање куглице по неравнинама предходно обрађене површине (слика 1). Обрада се изводи алатом високе крутости и одређене величине пречника куглице. У зависности од величине радијуса куглице, корака неравнина и облика неравнина контакт куглице са предметом обраде започиње по једном или више врхова неравнина.



Слика 1: Теоријска анализа процеса обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде заснованог на крутом систему алата

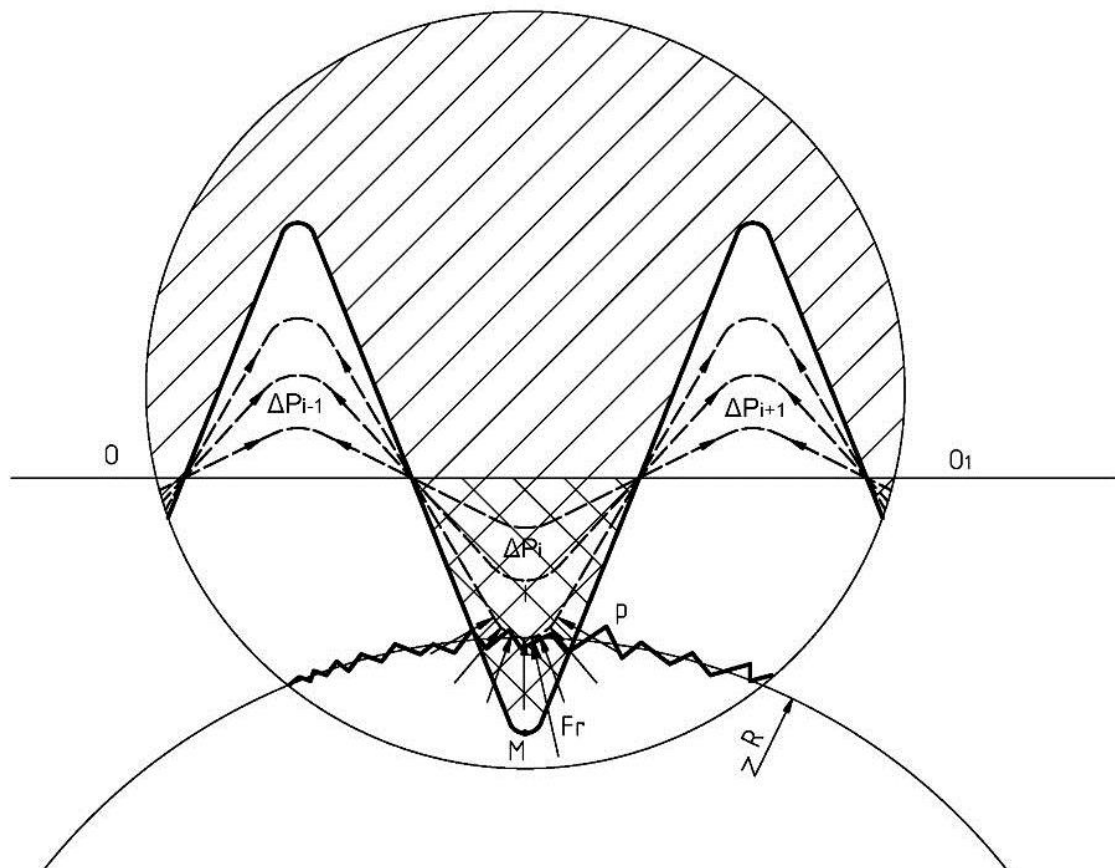
Посматрајући слику 1 контакт се остварује у околини тачака  $M_1, M_2 \dots M_n$ . Током продирања куглице у дубину профила по равнинама које су паралелне оси  $OO_1$  контактна површина између куглице и неравнина се повећава. За задату вредност померања алата  $y_i$  у дубину неравнина од неке референтне тачке на алату или машини важи неједначина:

$$F(y_i) \geq F(y_{i-1}) \geq F(y_2) \geq F(y_1) \quad (1)$$

где су:  $F(y_i), F(y_{i-1}), F(y_2)$  и  $F(y_1)$  – вредности силе које одговарају померању алата за координате  $y_i, y_{i-1}, y_2$  и  $y_1$ .

Уколико се жели постићи максимални могући квалитет обрађене површине онда се логично намеће питање до које вредности координате померања алата  $y_{opt}$  алат треба да продре у дубину неравнина.

Један од могућих модела течења материјала у зони контакта током процеса обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде је дат на слици 2. Услед високих вредности контактних притисака који превазилазе напон на граници течења материјала предмета обраде долази до течења материјала врхова неравнина који попуњава удубљења у профилу.



Слика 2: Зона контакта и предпостављени правци течења материјала

Са повећањем вредности координате продирања алата  $y$  у дубину профила се повећава и степен попуњености долина, односно удубљења, профила. Предпоставља се да величина продирања алата треба да буде одређена на основу предходног снимања профила храпавости предходно обрађене површине, односно да треба да се задовољи услов:

$$y \approx R_p \quad (2)$$

где је:  $R_p$  – максимална висина испупчења профила предходно обрађене површине

Као последица овог услова се може поставити приближна једнакост површина:

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_{vi} \cong \sum_{i=1}^{i=n} P_{pi} \quad (3)$$

где су:  $P_{vi}$  – површина  $i$ -те долине у односу на средњу линију профила и

$P_{pi}$  – површина  $i$ -тог испупчења у односу на средњу линију профила

Једначина 3 се може написати као:

$$\int_0^L f(x) dx \Big|_{f(x)<0} \cong \int_0^L f(x) dx \Big|_{f(x)>0} \quad (4)$$

Јасно је да крива профила предходно обрађене површине нема аналитичку функцију  $f(x)$ . Међутим сви савремени уређаји за мерење храпавости дају низове нумеричких вредности на бази којих се, коришћењем одговарајућег програмског пакета (*software*), може проверити услов о приближној једнакости површина испупчења и удубљења профила храпавости. Предпоставка према којој се приближно максимални квалитет обрађене површине постиже према услову да продирање алата треба да буде до дубине максималног испупчења неравнина  $R_p$  предходно обрађене површине, што приближно испуњава услов о једнакости површина испупчења и удубљења профила, се базирају на следећим чињеницама:

- Материјалу који тече низ испупчења на профилу треба обезбедити одређени простор у који ће се сместити (слика 1). Услов о једнакости површина испупчења и удубљења профила теоријски омогућава истовремено смањење висине испупчења  $R_p$  и висине (односно дубине) удубљења  $R_v$ .
- Када се алат, односно куглица, помери у односу на неки референтни положај на алату или машини према дубини профила за величину  $y_{opt}$  материјал који тече са испупчења профила испуњава удубљења профила и неће стварати значајна додатна испупчења на профилу.

Течење материјала испупчења профила, се највероватније, у највећој мери одвија у виду ширења и скраћења испупчења. Ова тврдња се образлаже предпоставком да резултујућа контактна сила сабијања материјала испупчења, због великог односа радијуса куглице и реално малих вредности корака предходне обраде вероватно има правац приближно нормалан на средњу линију профила (слика 1). Са тим у вези је реално, без обзира на стохастичку димензију профила предходно обрађене површине, очекивати да ће предложена метода обраде, базирана на крутом систему алата, у односу на алате који функционишу на принципу константне силе, дати веће ефекте по питању квалитета обрађене површине. Алати који функционишу по принципу константне силе (алати са опружним механизмом) због променљиве вредности отпора материјала предмета обраде, осцилују значајно око праве линије, што само по себи генерише нове неравнине и валовитост профила.

#### 4. Детаљан опис техничког решења

Техничким решењем се уводи нови концепт оптимизације процеса завршне обраде базираног на котрљању крутог алата по површини предмета обраде. За разлику од алата који функционишу на принципу константне силе применом алата високе крутости може се вршити обрада која функционише на принципу константне дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде.

Оваквим начином оптимизовања се елиминише велики број експеримената који су неопходни како би се дошло до одговарајуће вредности оптималне силе. Скраћује се време потребно за постизање одговарајућег квалитета обрађене површине са аспекта побољшања површинске храпавости. Елиминише се потреба за постојањем базе података са информацијама које се односе на сваки материјал посебно.

Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде се применом овог решења своди на одређивање дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде. Да би се одредила одговарајућа вредност дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде потребно је извршити снимање профила храпавости предходно обрађене површине. На основу података са уређаја за мерење параметара храпавости се веома лако, уколико то сам уређај не уради аутоматски, може одредити максимална висина неравнина од средње линије профила, односно максимална висина испупчења профила  $R_p$ . Током обраде је потребно да се испуни следећи услов:

$$y \approx R_p$$

где је  $y$  – дубина продирања (пенатрације) куглице у материјал предмета обраде

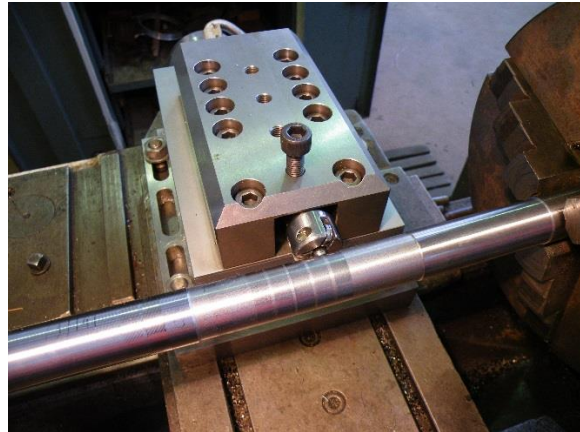
С обзиром да савремене алатне машине, било да је реч о стругу или глодалици, имају могућност задавања померања са кораком од једног или више микрометра испуњење овог услова не би требало да представља никакав додатни проблем. Овим техничким

решењем се постижу жељени резултати обрадом у једном пролазу тако да тај параметар обраде губи значај јер није потребно вршити обраду у више пролаза.

С обзиром да се применом оваквог алата и обраде са предефинисаном дужином пенетрације куглице у материјал предмета обраде елиминише оптимизација два параметра обраде, сила и број пролаза, остаје оптимизација посмака и брзине кретања куглице по површини предмета обраде. Међутим у анализираној литератури, као и у оквиру извршених експерименталних истраживања, уочено је да преостали параметри не утичу пресудно на квалитет обрађене површине. Са тим у вези потребно је извршити одабир брзине кретања куглице и посмака у складу са алатном машином на којој се обрада врши. На слици 3 је приказан фотографски приказ алата у захвату.



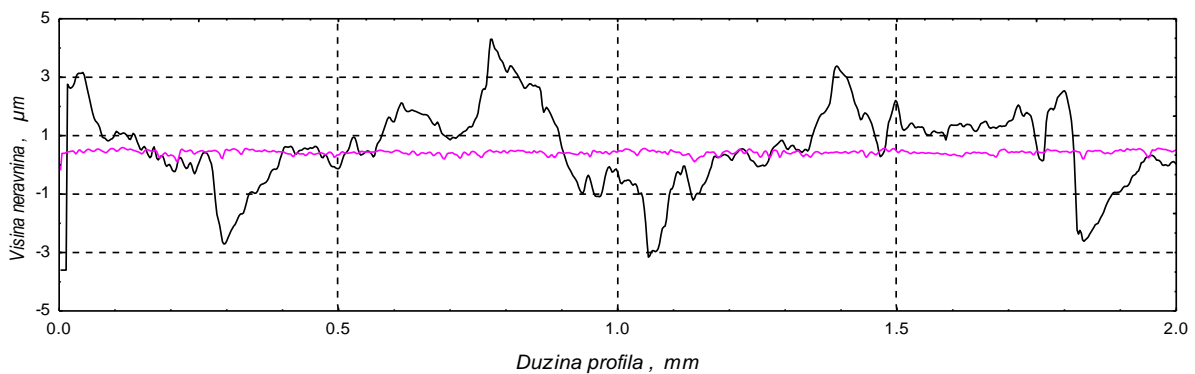
а)



б)

Слика 3: Фотографски приказ алата током процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде а) на нумерички контролисаној глодалици и б) на универзалном стругу

На слици 4 су приказани преклопљени профили храпавости површине пре и након обраде котрљањем куглице применом технике оптимизације која је предходно представљена.



Слика 4: Преклопљени профили храпавости обрађене површине пре и након оптимизоване обраде алатом високе крутости



## 5. Литература

1. Y. C. Lin, S. W. Wang, H.-Y. Lai, The relationship between surface roughness and burnishing factor in the burnishing process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 23, Issue 9-10, pp. 666-671, 2004
2. L. Liviu, N.V. Sorin, and M. Ioan, Effects of Working Parameters on Surface Finish in Ball-Burnishing of Hardened Steels, *Precision Engineering*, Vol. 29, Issue 2, pp. 253–256, 2005
3. T. A. El-Taweel, M. H. El-Axir, Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 41, Issue 3-4, pp. 301-310, 2009
4. M. H. El-Axir and M. M. El-Khabeery, Influence of Orthogonal Burnishing Parameters on Surface Characteristics for Various Materials, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 132, Issues 1-3, pp. 82–89, 2003
5. M. M. El-Khabeery and M. H. El-Axir, Experimental Techniques for Studying the Effects of Roller-Burnishing Parameters on Surface Integrity, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 41, Issue 12, pp. 1705–1719, 2001
6. X. Yu, L. Wang, Effect of various parameters on the surface roughness of an aluminium alloy burnished with a spherical surfaced polycrystalline diamond tool, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 39, Issue 3, pp. 459–469, 1999
7. N. H. Loh and S. C. Tam, Effects of ball burnishing parameters on surface finish – a literature survey and discussion. *Precision Engineering*, Vol. 10, Issue 4, pp. 215–220, 1988
8. B. Tadic, P. M. Todorovic, O. Luzanin, D. Miljanic, B. M. Jeremic, B. Bogdanovic, Đ. Vukelic, Using specially designed high-stiffness burnishing tool to achieve high-quality surface finish. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 67, Issue 1-4, pp. 601-611, 2013
9. Đ. Vukelić, D. Miljanić, S. Randelović, I. Budak, D. Džunić, M. Erić, M. Pantić, Burnishing process based on optimal depth of workpiece penetration. *Materials and Technology*, Volume 47, No. 1, pp. 43-51, 2013
10. S. Randjelović, B. Tadić, P. M. Todorović, Dj. Vukelić, D. Miloradović, M. Radenković, C. Tsiafis, Modeling of the Ball Burnishing Process with a High-Stiffness Tool. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Doi 10.1007/s00170-015-7319-4, In Printing.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу број 01-1/2437-29 од 02.07.2015. године, именовани смо за резензенте техничког решења „ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА ЗАВРШНЕ ОБРАДЕ КОТРЉАЊЕМ КУГЛИЦЕ ПО ПОВРШИНИ ПРЕДМЕТА ОБРАДЕ НА ОСНОВУ ДУБИНЕ ПЕНЕТРАЦИЈЕ КУГЛИЦЕ У МАТЕРИЈАЛ ПРЕДМЕТА ОБРАДЕ“ аутора: дипл.маш.инж. Саше Ранђеловића, Др Ђорђа Вукелића, Др Петра Тодоровића, ванр. професора, мас.инж.маш. Владимира Кочовића, дипл.маш.инж. Бојана Богановића, Др Лозице Ивановић, ванр. професора и Др Бранка Тадића, ред. професора . На основу документованог предлога овог техничког решења подносим следећи :

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ПРИМЉЕНО 26.08.2015.			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	01-1/3000		

## ИЗВЕШТАЈ

Техничко решења „ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА ЗАВРШНЕ ОБРАДЕ КОТРЉАЊЕМ КУГЛИЦЕ ПО ПОВРШИНИ ПРЕДМЕТА ОБРАДЕ НА ОСНОВУ ДУБИНЕ ПЕНЕТРАЦИЈЕ КУГЛИЦЕ У МАТЕРИЈАЛ ПРЕДМЕТА ОБРАДЕ“ аутора: дипл.маш.инж. Саше Ранђеловића, Др Ђорђа Вукелића, Др Петра Тодоровића, ванр. професора, мас.инж.маш. Владимира Кочовића, дипл.маш.инж. Бојана Богановића, Др Лозице Ивановић, ванр. професора и Др Бранка Тадића, ред. професора , приказано је на 9 страница формата А4. Садржи 4 графичких приказа, од којих једну фотографију. Наведено је 10 литературних извора. Реализовано је 2015. године. Предлог техничког решења, састављен је, поред уводних података, из следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем,
2. Стање решености проблема у свету - приказ и анализа постојећих решења,
3. Суштина техничког решења,
4. Детаљан опис техничког решења,
5. Литература.

Техничко решење припада области Производног машинства, ужој области која се односи на савремене технологије површина.

## Мишљење

Анализом текста техничког решења под називом „Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде“ аутора: дипл.маш.инж. Саше

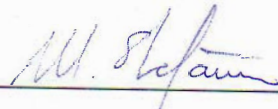
Ранђеловића, Др Ђорђа Вукелића, Др Петра Тодоровића, мас.инж.маш. Владимира Кочовића, дипл.маш.инж. Бојана Богановића, Др Лозице Ивановић и Др Бранка Тадића, може се констатовати следеће:

1. Техничко решење је ново и оригинално. Настало је као резултат дугогодишњих истраживања у области завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде чији су резултати делимично објављени у престижним иностраним часописима (The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 67, Issue 1-4, pp. 601-611, 2013; Materials and Technology, Vol. 47, No. 1, pp. 43-51, 2013; The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Doi 10.1007/s00170-015-7319-4, In Printing).
2. Ако се узме у обзир сложеност проблема оптимизације процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде и време које је потребно да се иста изврши, предложени метод оптимизације процеса представља новину. Метод оптимизације се базира на константној дубини продирања куглице у материјал предмета обраде а не на константној сили којом се куглица притиска о површину предмета обраде. Важно је напоменути да овакав вид оптимизације функционише уколико се за завршну обраду користи алат високе крутости који не генерише никакве додатне осцилације проузроковане начином задавања силе (опружни механизми, флуид под притиском итд.).
3. Коришћењем алата високе крутости метод оптимизације се своди на познавање профила храпавости површине која ће се обрађивати, односно на познавање вредности максималног испупчења профила храпавости. Уколико се изврши поређење са досадашњим методама оптимизације процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде онда се време потребно за оптимизацију своди на време које је потребно да се изврши снимање профила храпавости површине коју треба обрадити.

На основу изложеног предлажемо да се предлог техничког решења под називом „Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде“ аутора: дипл.маш.инж. Саше Ранђеловића, Др Ђорђа Вукелића, Др Петра Тодоровића, мас.инж.маш. Владимира Кочовића, дипл.маш.инж. Бојана Богановића, Др Лозице

Ивановић и Др Бранка Тадића прихвати као ново техничко решење у класи М84, битно побољшан постојећи производ или технологија, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Службени гласник Републике Србије, бр. 38/2008).

23.07.2015., у Крагујевцу



проф. др Милентије Стефановић  
Факултет инжењерских наука Крагујевац



ванр. проф. др Слободан Митровић  
Факултет инжењерских наука Крагујевац

dr.sc. Goran Šimunović, redoviti profesor  
Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Trg Ivane Brlić Mažuranić 2  
35000 Slavonski Brod

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ПРИМЉЕНО 26.08.2015.			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	01-1/3000-1		

Fakultet inženjerskih nauka  
Univerziteta u Kragujevcu  
Naučno-nastavno veće

Odlukom broj 01-1/2437-29 Nastavno-znanstvenog vijeća Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu na sjednici održanoj dana 09.07.2015. godine imenovan sam za recenzenta tehničkog rješenja pod nazivom "Optimizacija procesa završne obrade kotrljanjem kuglice po površini predmeta obrade na osnovu dubine penetracije kuglice u materijal predmeta obrade", autora: Saše Ranđelovića, dr Đorđa Vukelića, dr Petra Todorovića, Vladimira Kočovića, Bojana Bogdanovića, dr Lozice Ivanović i dr Branka Tadića.

Na temelju priložene dokumentacije tehničkog rješenja podnosim sljedeći

## IZVJEŠTAJ

Dokumentacija tehničkog rješenja "Optimizacija procesa završne obrade kotrljanjem kuglice po površini predmeta obrade na osnovu dubine penetracije kuglice u materijal predmeta obrade" realiziranog 2015. godine, se sastoji od slijedećih poglavlja:

1. Opis problema koji se rješava tehničkim rješenjem,
2. Stanje riješenosti problema u svijetu - prikaz i analiza postojećih rješenja,
3. Suština tehničkog rješenja,
4. Detaljan opis tehničkog rješenja (uključujući i prateće ilustracije i tehničke crteže) i
5. Literatura.

Autori tehničkog rješenja su učinili tekstualnu dokumentaciju na 9 stranica, uključujući ilustracije i tehničke crteže.

Dokumentacija tehničkog rješenja sadrži: autore rješenja, ključne riječi, naziv tehničkog rješenja, godinu kada je rješenje izvedeno, oblast na koju se tehničko rješenje odnosi, problem koji se tehničkim rješenjem rješava, stanje izvedenosti tog problema u svijetu, objašnjenje suštine tehničkog rješenja, detaljan opis s karakteristikama, način realizacije i primjene tehničkog rješenja.

Tehničko rješenje pripada polju tehničko-tehnoloških znanosti i području proizvodnog strojarstva.

Naručilac i korisnik tehničkog rješenja je Metalik d.o.o., Trebješka 6/26, Nikšić, Crna Gora.

Tehničko rješenje je realizirano u okviru projekta "Razvoj triboloških mikro/nano dvokomponentnih i hibridnih samopodmazujućih kompozita" (Broj projekta TR 35021, Program istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2011.-2015., Tehnološka oblast - Mašinstvo, Voditelj projekta: Prof. dr Miroslav Babić).

Tehničko rješenje pored stručne komponente, pruža originalan teorijski i znanstveno-istraživački doprinos.

Segmenti istraživanja u tijeku realizacije tehničkog rješenja publicirani su u tri članka u međunarodnim časopisima, i to:

- Tadic, B., Todorovic, P., Luzanin, O., Miljanic, D., Jeremic, B., Bogdanovic, B., Vukelic, D.: Using specially designed high-stiffness burnishing tool to achieve high-quality surface finish, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, Vol. 67, No 1-4, pp. 601-611, ISSN 0268-3768.
- Randjelovic, S, Tadic, B., Todorovic, P., Vukelic, D, Miloradovic, D, Radenkovic, M., Tsiafis, C: Modelling of the ball burnishing process with a high-stiffness tool, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, doi: 10.1007/s00170-015-7319-4, ISSN 0268-3768.
- Vukelic, D., Miljanic, D., Randjelovic, S., Budak, I., Dzunic, D., Eric, M., Pantic, M.: Burnishing process based on optimal depth of workpiece penetration, Materiali in Tehnologije, 2013, Vol. 47, No 1, pp. 43-51, ISSN 1580-2949.


Autori tehničkog rješenja su jasno prikazali novi koncept optimizacije procesa završne obrade koji je baziran na kotrljanju krutog alata po površini obratka. Optimizacija procesa završne obrade primjenom ove tehnologije se svodi na određivanje dubine prodiranja kuglice u materijal obratka. Ovim načinom optimizacije procesa završne obrade se eliminira veliki broj pokusa koje bi bilo neophodno provesti kako bi se došlo do optimalnih parametara obrade uz istovremeno skraćanje vremena potrebnog za postizanje odgovarajuće kvalitete obrađivane površine radnog predmeta s aspekta poboljšanja površinske hrapavosti.

## MIŠLJENJE I ZAKLJUČAK

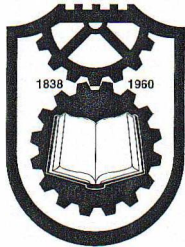
Predlažem Nastavno-naučnom vijeću Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu da se bitno poboljšana postojeća tehnologija pod nazivom "Optimizacija procesa završne obrade kotrljanjem kuglice po površini predmeta obrade na osnovu dubine penetracije kuglice u materijal predmeta obrade" prihvati kao novo tehničko rješenje, te u skladu s Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača ("Službeni glasnik RS", broj 38/2008) klasificira kao rezultat "M84 Bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologija".

Slavonski Brod, 10.08.2015. godine.

dr.sc. Goran Šimunović, redoviti profesor



---



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
Факултет инжењерских наука  
Број: ТР-89/2015  
27. 08. 2015. године  
Крагујевац

Наставно-научно веће Факултета инжењерских наука у Крагујевцу на својој седници од 27. 08. 2015. године на основу члана 205. Статута Факултета инжењерских наука, донело је

## ОДЛУКУ

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „Оптимизација процеса завршне обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде“, аутори: Саша Ранђеловић, др Ђорђе Вукелић, др Петар Тодоровић, Владимир Кочовић, Бојан Богдановић, др Лозица Ивановић и др Бранко Тадић.

Решење припада класи **М84**, према класификацији из Правилника о поступку, начину вредновању, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. Гласник РС“ - бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. **Др Милентије Стефановић**, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,  
Уже научне области: Производно машинство, индустријски инжењеринг,
2. **Др Слободан Митровић**, ванредни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,  
Уже научне области: Производно машинство, индустријски инжењеринг,
3. **Др Горан Шимуновић**, редовни професор, Стројарски факултет Велеучилишта у Славонском Броду, Република Хрватска,  
Уже научна област: Производно стројарство.

Достављено:

- Ауторима
- Архиви



Др Мирослав Живковић, редовни професор