

Документација техничког решења

„Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице“

Аутори техничког решења:

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

Кључне речи: Крути алат, куглица, котрљање

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

Површинска храпавост има веома велики утицај на перформансе механичких компоненти, неравнине које постоје на површинама механичких компоненти одређују начин интеракције стварног објекта са окружењем. Последица ове чињенице је да се последњих година веома велики значај придаје процесима завршне обраде. Добра завршна обрада има позитивне ефекте на функционисање машинских склопова, пренос оптерећења, отпорност на хабање, корозиону отпорност, радни век склопова и заморну чврстоћу док се лошом завршном обрадом повећава, пре свега хабање, а потом и могућност добијања неодговарајућих толеранција и потребе одређеног механизма за енергијом. Најчешће коришћени поступци завршне обраде су фина обрада стругањем, фина обрада глодањем, брушење, развртање, провлачење и остали поступци глачања као што су леповање, хоновање, суперфиниш, полирање и тако даље.

Са друге стране, још један од параметара који утиче на квалитет обрађене површине је површинска микротврдоћа која се мења током процеса обраде као последица отврдњавања површинских слојева. Вредност овог параметра у великој мери утиче на вредност отпорности на хабање и заморну чврстоћу. Алтернативни механички процеси за побољшање храпавости, површинске микротврдоће, заморне чврстоће и отпорности на хабање су базирани на чистом деформационом ојачању. Алтернативни процеси механичке обраде који се користе, пре свега за побољшање заморне чврстоће и отпорности на хабање, су пескарење, бомбардовање сачмом, ковање, обрада млазом воде под притиском, рибање, ваљање отвора и обрада високим притисцима.

Веома је важно нагласити да се алтернативним механичким процесима базираним на чистом деформационом ојачању добијају вредности тврдоће и заморне чврстоће које имају значајно мање вредности у односу на оне добијене термичким и термохемијским обрадама. Овај податак произилази из чињенице да деформационо ојачање није базирано на мартензитној трансформацији површински центриране кристалне решетке у запремински центрирану кристалну решетку мартензита.

Један од алтернативних процеса механичке обраде којим се може побољшати квалитет израде и обраде предмета обраде са аспекта постизања потребног квалитета, који обухвата тачност обраде и квалитет обрађених површина, је завршна обрада метала базирана на котрљању алата по површини предмета обраде. Процес обраде котрљањем алата по површини предмета обраде је процес механичке обраде на хладно без скидања струготине којим се пластично деформише површински слој третираног предмета обраде. Процес обраде котрљањем алата по површини предмета обраде функционише тако што се радни елемент алата (најчешће куглица, ваљак или диск) ваља по површини која се обрађује. Ваљањем 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. 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 и обраде деформисањем. Развоју савременог алата пришло се са научног аспекта у многим сферама. Пошто је циљ развој алата за обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде који треба да се пласира на пре свега домаћем тржишту а потом и иностраном, онда је, у првом кораку, на научном нивоу прикупљен и обрађен велики број информација везаних за постојећа решења, специфичне захтеве, мишљења и слично.

У најкраћим цртама проблем који се решава карактеришу следећи критеријуми:

- развој алата намењеног за завршну обраду који се може користити на универзалним и нумерички контролисаним алатним машинама,
- развој алата којим ће се постићи веома висок ниво квалитета површине са аспекта побољшања површинке храпавости,
- развој алата којим је могуће обрађивати предмета обраде различитих облика, пре свега призматичне и цилиндричне,
- развој алата којим ће се избећи друге врсте завршних обрада, пре свега завршна обрада брушењем, што представља тренд који је свеprisутан у свету са аспекта прецизности обраде јер се на тај начин избегава дислоцирање предмета обраде са једне на другу алатну машину, такозване обраде са више стезања се у том случају елиминишу,
- развој алата којим ће се избећи коришћења средстава за хлађење и подмазивање пре свега због веома строгих еколошких норми који се тичу одлагања истих,
- развој алата којим ће се постићи површинско отврдњавање обрађене површине,
- развој алата којим ће се побољшати физичко-хемијске карактеристике обрађене површине као што су отпорност на хабање, корозиона отпорност, затезна чврстоћа итд.

Уколико се осврнемо на постављене критеријуме може се закључити да је задатак који је решаван веома сложен и амбициозан.

С обзиром да је развој алата за завршну обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде проблем интердисциплинарног карактера примењене су различите технике истраживања:

- савремене технике прикупљања и обраде информација – рад са базама података и сл.,
- савремене технике које се примењују у анализи сложених динамичких система – теоријско динамичко моделирање конструкције и сл.,
- савремене технике оптимизације пројектног и конструктивног решења,

- савремене технике CAD моделирања - израде конструкционе документације и
- савремене технике CAE моделирања - моделирање и симулације процеса.

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

Алати који се користе у процесу обраде котрљањем алата по површини предмета обраде имају куглицу, ваљак или диск као радни елемент. Са обзиром на облик радног елемента алата је извршена подела процеса обраде котрљањем по површини предмета обраде. Радни елемент алата може бити од керамике, волфрам карбида, хром карбида, високохромираних угљеничних челика и тако даље.

Од пресудног значаја је да се конструктивним решењем алата обезбеди неометано котрљање радног елемента алата, у овом случају куглице, по површини предмета обраде т.ј. да се избегне клизање по третираној површини као и да се спречи појава адхезионих спојева током обраде. Постоје различита конструктивна решења којима се обезбеђује неометано котрљање радног елемента алата. Са тим у вези алати се могу поделити у неколико категорија:

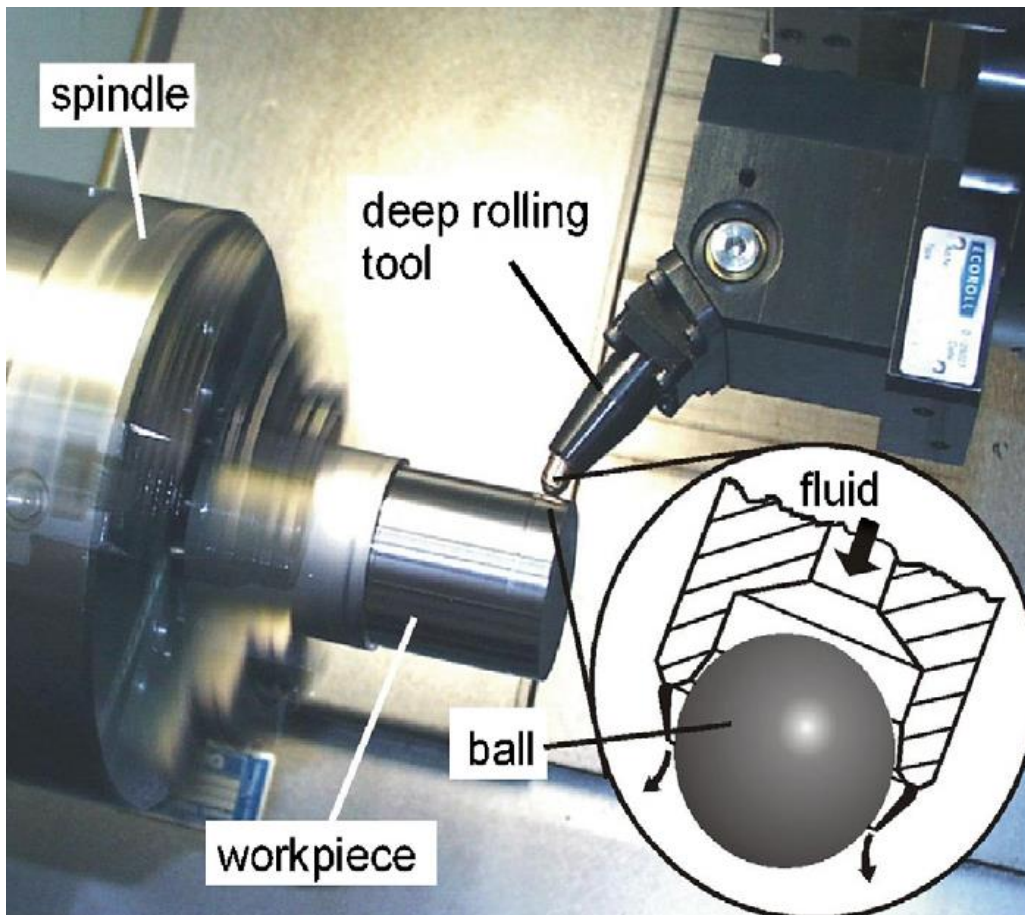
- алати код којих се неометано котрљање куглице обезбеђује помоћу помоћних (водећих) куглица,
- алати код којих се неометано котрљање куглице обезбеђује помоћу флуида под притиском,
- алати код којих је куглица ослоњена на стрму раван и
- алати код који се неометано котрљање куглице обезбеђује помоћу котрљајних лежајева.

Поред тога, алати се могу поделити и према начину задавања силе којом се куглица притиска о површину предмета обраде. На основу овог критеријума могу се разликовати алати код којих се сила задаје:

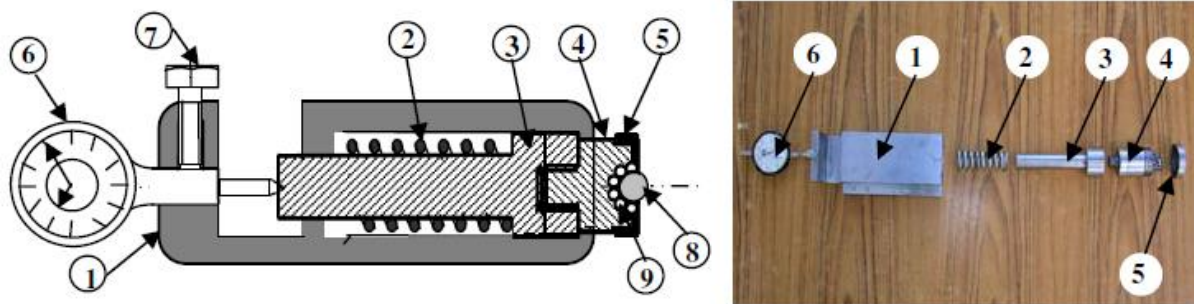
- алати код којих се сила задаје помоћу калибрисаних опруга,
- алати код којих се сила задаје помоћу флуида под притиском и
- специјална решења алата код којих се сила задаје коришћењем флексибилног држача алата.

Постоје и специјална решења носача алата, намењена за обраду великих равних површина са циљем скраћења времена обраде, на које се могу монтирати више једноставних алата за обраду котрљањем.

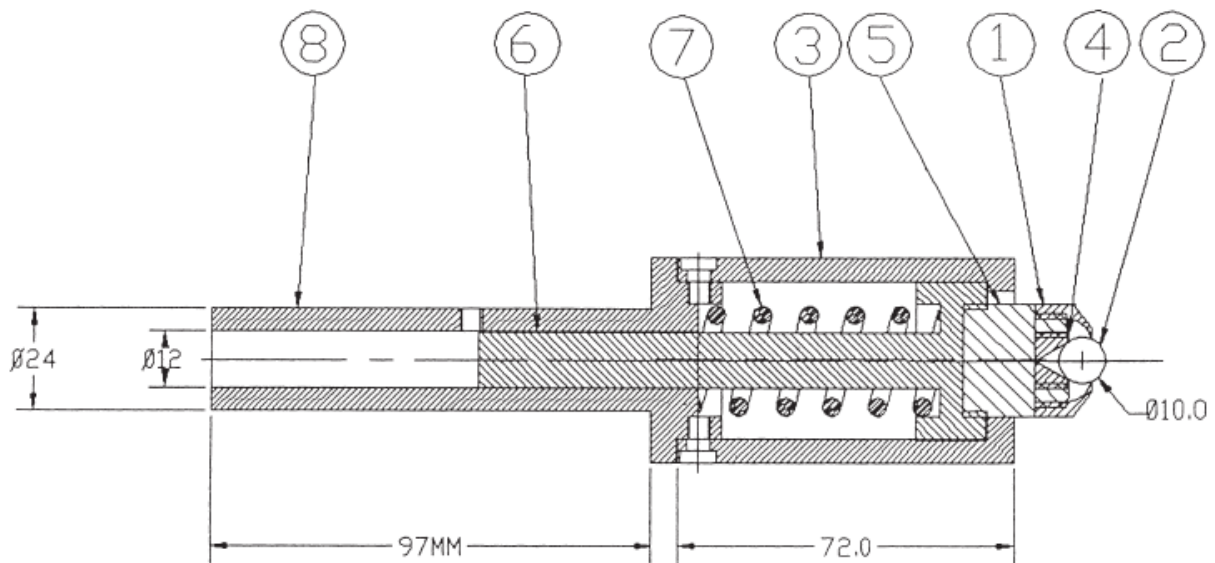
На сликама 1, 2 и 3 су приказана нека од конструктивних решења алата са различитим начинима обезбеђивања неометаног котрљања куглице и са различитим начинима задавања силе.



Слика 1: Алат за обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде код кога се неометано котрљање куглице и задавање силе врши помоћу флуида под притиском



Слика 2: Алат за обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде са помоћним куглицама које обезбеђују неометано котрљање куглице са задавањем силе помоћу калибрисане опруге. Позиције: 1. кућиште алата, 2. калибрисана опруга, 3. ослонац опруге, 4. ослонац куглице, 5. поклопац, 6. инструмент за очитавање задате силе, 7. навртка, 8. куглица и 9. помоћне куглице



Слика 3: Алат за обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде код кога се куглица ослања на стрму раван са задавањем силе помоћу калибрисане опруге.
 Позиције: 1. поклопац адаптера, 2. куглица, 3. кућиште, 4. ослонац куглице, 5. адаптер, 6. ослонац опруге, 7. калибрисана опруга, 8. држач

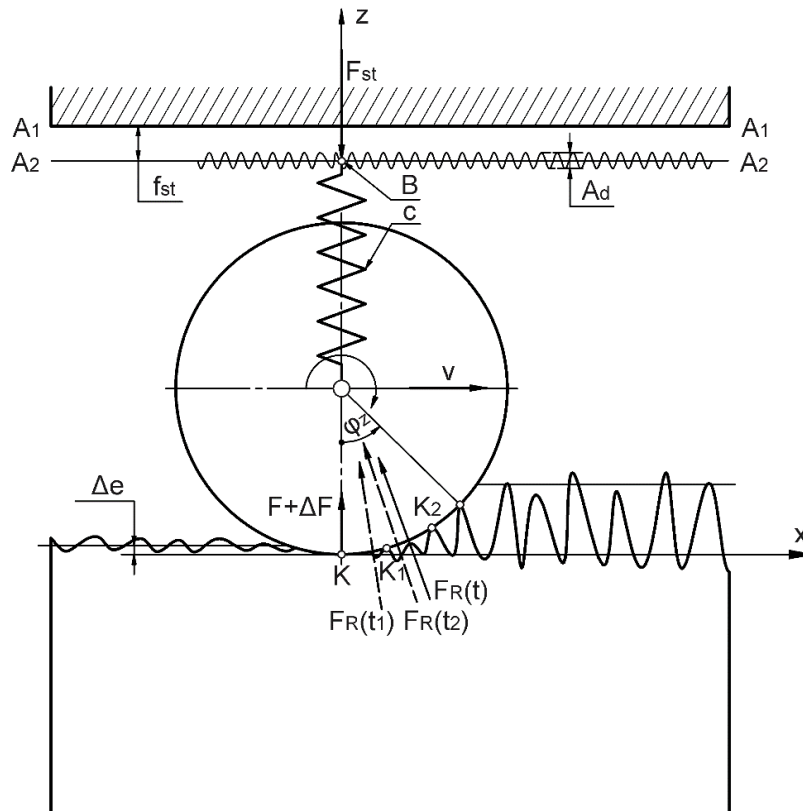
Анализом постојећих конструктивних изведби може се закључити да алат за обраду котрљањем по површини предмета обраде и предмет обраде чине еластичан систем. Независно од начина задавања силе којом се куглица притиска о површину предмета обраде, било да је реч о калибрисаним опругама или о флуиду под притиском, постоји извесан ниво осцилација. Извор осцилација представљају опруга, у случају задавања силе калибрисаном опругом, флуид, односно променљиви притисак флуида или стишљивост флуида као и сама природа контакта куглице и предмета обраде који се остварује преко хрпаве површине. Осцилације које постоје у систему имају утицај на резултатујућу површину.

Проблематиком развоја алата данас у свету се баве истраживачки тимови који поседују висок ниво теоријских знања из базичних наука као што су: механика, материјали, обрада метала резањем, обрада метала деформисањем и трибологија. Поред тога неопходна је систематизација великог броја информација о трендовима и достигнућима у области развоја савремених алата. И на крају, што не значи да је то најмање битно, потребан је креативни дух и организационе способности које могу ујединити енергију већег броја компетентних истраживача и исту усмерити према жељеном циљу.

У било ком процесу обраде, поред параметара који дефинишу режиме обраде и остале услове обраде (стање машине, стезни прибор, подмазивање и др.) једну од кључних улога има алат којим се изводи процес обраде. Истраживања у области обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде треба усмерити у правцу анализе динамичког понашања алата са којим се процес обраде изводи. Ово се односи посебно на случајеве код којих се обрада изводи великим брзинама, на пример при обради котрљањем куглице по површини предмета обраде која се изводи на стругу. У анализираној литератури нема података о алатима који би омогућили да се у теоријском смислу дубље анализира динамичко понашање алата у датим условима обраде. На пример, подаци о крутости

опруга преко којих се обезбеђује сила или подаци о притиску флуида и варијације притиска флуида који обезбеђује силу којом се остварује притисак између куглице и предмета обраде.

Међутим, треба нагласити да је теоријски веома тешко моделирати динамичко понашање алата у условима обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде. Посебно ако се има у виду да се процес највећим делом обавља по неравнинама и да је дисперзија побудних сила које делују на алат у суштини непозната као и да се ради о померањима алата у дубину неравнина микроскопских вредности.



Слика 4: Шема алата у захвату током процеса обраде

Предстојеће теоријско разматрање има за циљ да глобално укаже на величине које су везане за алат а које су утицајне на излазне ефекте процеса обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде. Разматра се обрада равне површине са релативно малим брзинама померања алата. На слици 4 је приказана шема алата у захвату током обраде.

Сила којом се куглица притиска о површину предмета обраде се остварује преко опруге крутости c . Да би се остварила сила F опруга се пре почетка процеса обраде сабија за вредност статичког угиба f_{st} из референтног положаја A_1A_1 у положај A_2A_2 . Контакт куглице са материјалом предмета обраде током кретања дуж осе x почиње по врховима неравнина, на пример у тачкама K_1 и K_2 дуж угла захвата куглице φ_z . Због стохастичке природе неравнина мења се величина угла захвата φ_z и резултујући отпор F_R који у тренуцима времена t_1 и t_2 има вредности $F_{R(t_1)}$ и $F_{R(t_2)}$. Ова варијација отпора изазваће осциловање краја опруге (тачка B) у односу на референтни положај A_2A_2 за неку вредност f_d . Настале осцилације опруге у одређеном делу се морају одразити на квалитет обрађене

површине (средње аритметичко одступање профила, валовитост површине и друге параметре храпавости). У вези са предходно наведеним се може написати једначина:

$$F \pm \Delta F = c(f_{st} \pm f_d) \quad (1)$$

из које следи:

$$f_d = \pm \frac{\Delta F}{c} \quad (2)$$

где су: $\pm \Delta F$ – интервал варијације силе и

f_d – померање алата (куглице) у правцу z осе услед силе $\pm \Delta F$

Посматрајући слику 4 може се предпоставити да је:

$$f_d \approx \frac{A_d}{2} \quad (3)$$

Коришћењем предходних једначина се може показати да побудна сила од свега $\Delta F=0.01N$ и код опруга крутости $10^4 N/m$ изазива сабијање опруге у износу од $1\mu m$, што је значајна вредност када је у питању храпавост при завршној обради котрљањем куглице по површини предмета обраде. Побудна сила од $\Delta F=0.01N$ је извесна због саме стохастичке природе предходно обрађене површине као и због грешака саме машине (засори на осам), грешака облика куглице и грешака осталих делова алата и стезног прибора. На основу предходног разматрања произилази да са аспекта квалитета обрађене површине и прецизности израде потребну силу треба остваривати са опругама високе крутости што ће позитивно утицати на смањење висина неравнина резултујуће површине.

Ова теоријска разматрања нису узела у обзир инерцијалне силе и силе пригушења. Разлози због којих је то тако изведено су следећи:

1. Разматра се обрада равне површине на нумеричкој глодалици. Обрада се изводи при брзини радног стола машине од $2000 mm/min$. На основу прелиминарних експеримената је одређено да је валовитост површине реда величине, корак вала $S_v \approx 1 mm$ а висина вала $H_v \approx 0.6 \mu m$. Ако се претпостави да куглица врши осциловање по валовима неравнина, на основу брзине кретања радног стола машине и корака вала неравнина произилази да фреквенција осциловања куглице износи приближно $f = 33.3 s^{-1}$ а угаона брзина осциловања приближно $\omega = 209 s^{-1}$.
2. Маса куглице која је коришћена у прелиминарним експериментима је свега $m = 2.5 \cdot 10^{-4} N$. На основу вредности масе, амплитуде осциловања (висина вала

неравнина) и угаоне брзине произилази приближна вредност инерцијалне силе и она износи:

$$F_{in} = m \frac{H_v}{2} \omega^2 = 3.3 \cdot 10^{-7} N \quad (4)$$

При чему је предпостављено кретање куглице по валовима неравнина према закону синусне функције помоћу које се у основи може симулирати валовитост површине.

3. Сила пригушења је једнака производу коефицијента пригушења и брзине осциловања куглице, односно:

$$F_p = b \frac{H_v}{2} \omega = 6,18 \cdot 10^{-5} \cdot b \quad (5)$$

где је: b – коефицијент пригушења.

С обзиром на вредности коефицијента пригушења може се закључити да је и сила пригушења нижег реда величине у односу на еластичну силу опруге која се јавља при реалним вредностима побуде куглице.

На основу ових теоријских разматрања закључено је да се коришћењем алата високе крутости могу постићи повољнији резултати са аспекта побољшања површинске храпавости.

3. Суштина техничког решења

Суштина техничког решења крутог алата намењеног за завршну обраду метала и неметала котрљањем куглице по површини предмета обраде се огледа у следећем:

1. На основу теоријских разматрања о динамичком понашању алата у условима обраде котрљањем куглице по површини предмета обраде коришћењем алата који у себи имају опружни механизам или се користи флуид под притиском за задавање силе којом се куглица притиска о површину предмета обраде долази се до закључка да се коришћењем алата високе крутости могу постићи повољнији резултати са аспекта побољшања површинске храпавости третиране површине.
2. Концепцијско решење алата је по сложености, у односу на постојеће решења, веома једноставно и састоји се од само три дела. При томе два од три дела су стандардни: лежај, односни лежајеви, и куглица. У односу на постојећа решења конструкција алата је универзалнијег карактера.

3. Конструктивно решење крутог алата за завршну обраду котрљањем куглице је оптимизовано према многим критеријумима (поузданост, цена, дизајн, технологичност израде,...).
4. Алат је пројектован тако да се може користити на универзалним и нумерички управљаним алатним машинама.
5. Алат је пројектован тако да се може користити на струговима и глодалицама.
6. Коришћењем алата за завршну обраду на алатној машини на којој се изводи предходна обрада се избегава т.з.в. обрада из више стезања, чиме се елиминишу неке од грешака обраде, стезања и позиционирања.

4. Детаљан опис техничког решења

Основне техничке карактеристике алата за завршну обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде су:

- габаритне мере: $\Phi 28 \times 57 \text{ mm}$,
- маса: $0,169 \text{ kg}$,
- могућност прихвата куглице од $\Phi 5$ до $\Phi 15$,
- нормално оптерећење до 600 N ,

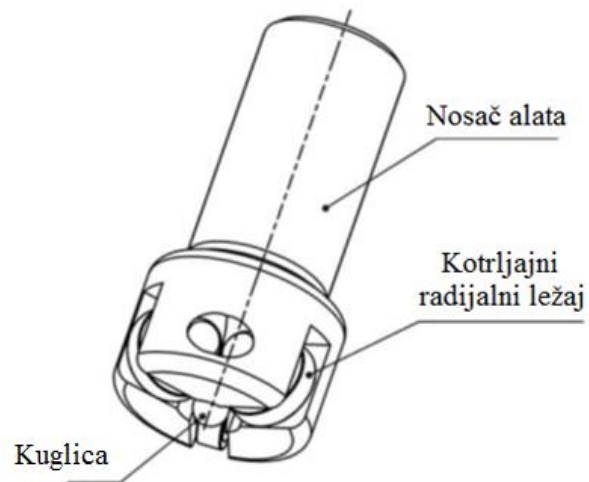
Из разлога који су већ наведени приступило се развоју новог алата високе крутости код којег је основна разлика, у односу на постојећа конструктивна решења, то што он не функционише по принципу константне силе, као код конструктивних решења са калибрисаним опругама односно флуидом под притиском, већ по принципу константне дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде.

Код оваквог пројектног решења сила која је неопходна за извођење процеса се одређује преко вредности дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде. Односно за одређене изабране вредности силе се одређују вредности дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде. Прорачун силе односно дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде се може урадити једноставним коришћењем једначина о узајамном притиску два тела, односно коришћењем једначина о *Hertz*-овом притиску.

На слици 5 је приказан 3D модел алата намењеног за спољашњу обраду призматичних и цилиндричних предмета обраде. Као што се и са слике може приметити алат је веома једноставне конструкције и састоји се од три дела:

- носач алата чија је намена са једне стране прихват лежајева на које се ослања куглица а са друге стране то је држач који се мотира у вретениште машине алатке са стезном чауром за прихват пречника 20 mm ,
- котрљајни радијални лежајеви на које се ослања куглица и
- куглица

Величина куглице која се може користити је одређена ширином жљебова у које се монтирају котрљајни лежајеви и генерално могу се користити куглице различитих пречника у распону од свега неколико милиметра па до 15 mm.

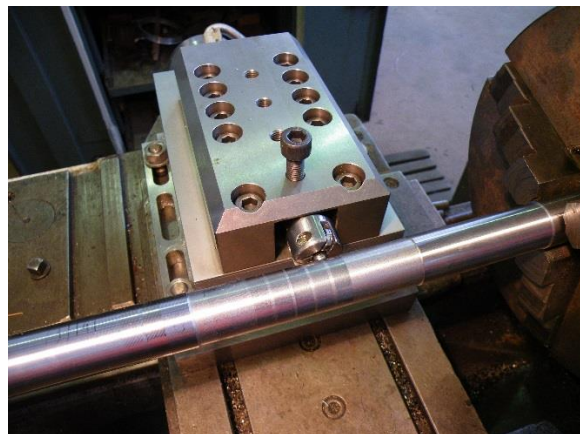


Слика 5: 3D модел алата намењеног за спољашњу обраду котрљањем куглице по површини призматичних и цилиндричних предмета обраде

Крутост алата је одређена величином деформација које настају у контакту куглице и три радијална лежаја која су распоређена под просторним углом од 120° у односу на правац продирања куглице у материјал предмета обраде. Оваквим концептом алата са ослањањем куглице у околини три тачке се обезбеђује потпуно котрљање куглице у ху равни. Радијални лежајеви су смештени у заједнички носач чије се деформације могу занемарити. На овај начин укупна попустљивост система алата се своди на деформације настале у зонама контакта куглице и спољашњих прстенова радијалних лежајева. На слици 6 је фотографски приказ алата у захвату.



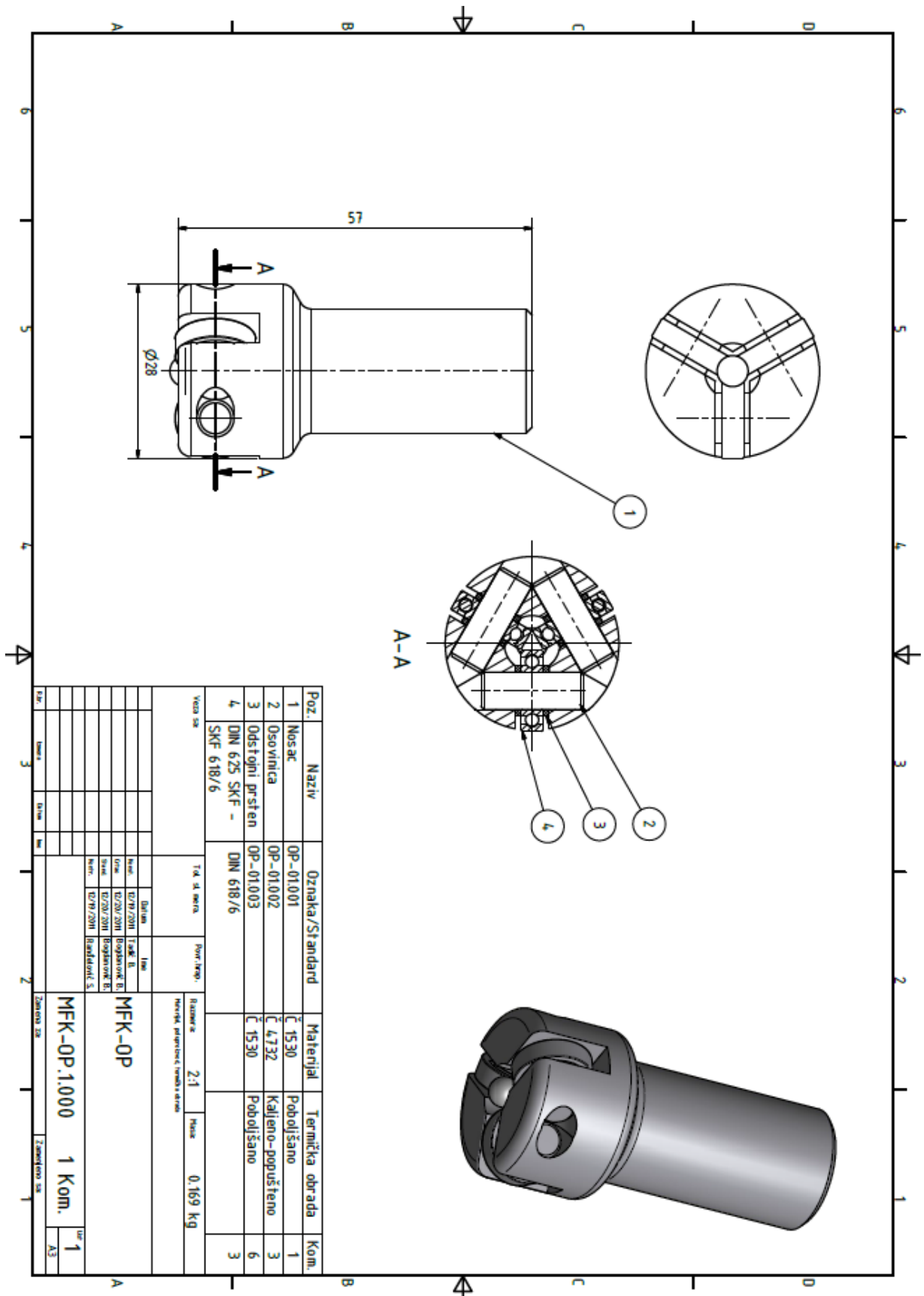
а)



б)

Слика 6: 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 7 је дат склопни цртеж крутог алата за завршну обраду котрљањем куглице по површини предмета обраде.



Слика 7: Склопни цртеж алата за завршну обраду котрљањем куглице

5. Литература

1. F. Gharbi, S. Sghaier, K.J. Al-Fadhlah, and T. Benameur, Effect of Ball Burnishing Process on the Surface Quality and Microstructure Properties of AISI 1010 Steel Plates. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 20, pp. 903–910, 2011
2. W. Bouzid Saï and J. L. Lebrun, Influence of Finishing by Burnishing on Surface Characteristics. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 12, Issue 1, pp. 37-40, 2003
3. S. Fang-Jung and H. Chih-Cheng, Surface Finishing of Hardened and Tempered Stainless Tool Steel Using Sequential Ball Grinding, Ball Burnishing and Ball Polishing Processes on a Machining Centre, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 205, Issues 1-3, pp. 249–258, 2008
4. 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
5. K. Palka, A. Weronki, and K. Zaleski, Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Burnished X5CrNi 18-9 Stainless Steel, *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 16, Issue 1-2, pp. 57–62, 2006
6. P. Prevéy , J. Cammett, The influence of surface enhancement by low plasticity burnishing on the corrosion fatigue performance of Al7075-T6. *International Journal of Fatigue*, Vol. 26, Issue 9, pp. 975-982, 2004
7. F. Gharbi, S. Sghaier, H. Hamdi, T. Benameur, Ductility improvement of aluminum 1050A rolled sheet by a newly designed ball burnishing tool device, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 60, Issues 1-4, pp. 87-99, 2012
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 01-1/2437-30 од 02.07.2015. године, именовани смо за рецензенте техничког решења **"КРУТИ АЛАТ НАМЕЊЕН ЗА ЗАВРШНУ ОБРАДУ МЕТАЛА КОТРЉАЊЕМ КУГЛИЦЕ"** аутора: Др Бранка Тадића, ред. професора, дипл. маш. инж. Саше Ранђеловића, Др Петра Тодоровића, ванр. професора, Др Ђорђа Вукелића, мас. инж. маш. Владимира Кочовића, дипл. маш. инж. Бојана Богановића и мас. маш. инж. Марије Јеремић. На основу документованог предлога овог техничког решења подносим следећи :

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ПРИМЉЕНО 26.08.2015.			
Орг. јед.	Број	Писмо	Бродност
01-1	3001-		

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решења **"КРУТИ АЛАТ НАМЕЊЕН ЗА ЗАВРШНУ ОБРАДУ МЕТАЛА КОТРЉАЊЕМ КУГЛИЦЕ"** аутора Др Бранка Тадића, дипл. маш. инж. Саше Ранђеловића, Др Петра Тодоровића, Др Ђорђа Вукелића, мас. инж. маш. Владимира Кочовића, дипл. маш. инж. Бојана Богановића и мас. маш. инж. Марије Јеремић, приказано је на 13 страница формата А4. Садржи 7 графичких приказа, од којих су 3 фотографије. 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

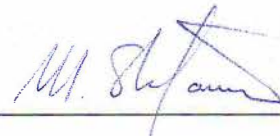
Анализом текста техничког решења под називом „Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице“ аутора: Др Бранка Тадића, дипл. маш. инж. Саше Ранђеловића, Др Петра Тодоровића, Др Ђорђа Вукелића, дипл. маш. инж. Владимира Кочовића, дипл. маш. инж. Бојана Богановића и дипл. маш. инж. Марије Јеремић, 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. Приказано и реализовано техничко решење у односу на постојећа решења у свету карактерише нови начин обезбеђивања неометаног котрљања куглице по површини предмета обраде при чему се избегава појава клизања куглице по третираној површини. У овом случају је то обезбеђено коришћењем три котрљајна лежаја која су распоређена тако да међусобно заклапају угао од 120° .
3. Приказано и реализовано техничко решење у односу на постојећа решења у свету је високе крутости. На основу теоријских разматрања и експерименталних истраживања је закључено да се коришћењем алата високе крутости постижу повољнији резултати са аспекта побољшања површинске храпавости.
4. Приказано и реализовано техничко решење у односу на постојећа решења у свету има другачији начин задавања силе којом се куглица притиска о површину предмета обраде. Сила се у овом случају задаје на основу дубине пенетрације куглице у материјал предмета обраде. Коришћењем Hertz-ових једначина о узајамном притиску два тела се може одредити тачна вредност силе за задату дубину пенетрације куглице у материјал предмета обраде.
5. У односу на постојећа конструктивна решења приказано техничко решење је по сложености веома једноставно и састоји се од само три дела при чему су два стандардна. У односу на постојећа решења конструкција алата је универзалнијег карактера.
6. Приказано и реализовано техничко решење се може користити на универзалним и нумерички управљаним струговима и глодалицама.

На основу изложеног предлажемо да се предлог техничког решења „Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице“ аутора: Др Бранка Тадића, дипл. маш. инж. Саше Ранђеловића, Др Петра Тодоровића, Др Ђорђа Вукелића, дипл. маш. инж. Владимира Кочовића, дипл. маш. инж. Бојана Богановића и дипл. маш. инж.

Марије Јеремић, 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/	3001-1		

Fakultet inženjerskih nauka
Univerziteta u Kragujevcu
Naučno-nastavno veće

Odlukom broj 01-1/2437-30 Nastavno-znanstvenog vijeća Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu na sjednici održanoj dana 09.07.2015. godine imenovan sam za recenzenta tehničkog rješenja pod nazivom "Kruti alat namenjen za završnu obradu metala kotrljanjem kuglice", autora: dr Branka Tadića, Saše Ranđelovića, dr Petra Todorovića, dr Đorđa Vukelića, Vladimira Kočovića, Bojana Bogdanovića i Marije Jeremić.

Na temelju priložene dokumentacije tehničkog rješenja podnosim sljedeći

IZVJEŠTAJ

Dokumentacija tehničkog rješenja "Kruti alat namenjen za završnu obradu metala kotrljanjem kuglice" 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 13 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.

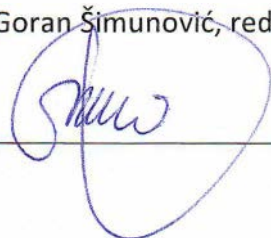
Autori tehničkog rješenja su prikazali razvoj i konstrukciju novog alata visoke krutosti Osnovna razlika, u odnosu na postojeća konstrukcijska rješenja, je u tome što isti funkcionira na principu konstantne dubine penetracije kuglice u materijal obratka, a ne na principu konstantne sile kao kod konstrukcijskih rješenja s kalibriranim oprugama, odnosno medijem pod tlakom. Konstrukcija alata je takva da osigurava povećanje razine kvalitete i površinske tvrdoće obrađene površine, kao i poboljšanje fizikalno-kemijskih svojstava kao što su otpornost na trošenje i otpornost na koroziju. Konstrukcija alata je takva da se može montirati na konvencionalne i CNC alatne strojeve. Moguće je obrađivati radne predmete različitih oblika sa ili bez uporabe sredstva za hlađenje i podmazivanje.

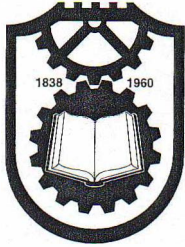
MIŠLJENJE I ZAKLJUČAK

Predlažem Nastavno-naučnom vijeću Fakulteta inženjerskih nauka u Kragujevcu da se bitno poboljšani postojeći proizvod pod nazivom "Kruti alat namenjen za završnu obradu metala kotrljanjem kuglice" 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, 15.08.2015. godine.

dr.sc. Goran Šimunović, redoviti profesor





УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Факултет инжењерских наука
Број: ТР-88/2015
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 „Крути алат намењен за завршну обраду метала котрљањем куглице“, аутори: др Бранко Тадић, Саша Ранђеловић, др Петар Тодоровић, др Ђорђе Вукелић, Владимир Кочовић, Бојан Богдановић и Марија Јеремић.

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

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА



Др Мирослав Живковић, редовни професор