

40. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem
40th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNIK RADOVA **PROCEEDINGS**



UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Beograd, maj 2016.

40. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



33. simpozijum
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**

27. simpozijum
CAD/CAM

36. simpozijum
NU – ROBOTI –FTS

42. simpozijum
**UPRAVLJANJE PROIZVODNOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

20. simpozijum
MENADŽMENT KVALITETOM

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Beograd, maj 2016. godine

40. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

El. pošta: jupiter@mas.bg.ac.rs

Odobreno za štampu odlukom Dekana
br. 05/16 od 15.04.2016.

Tehnički urednici:

Prof. dr Bojan Babić

Prof. dr Saša Živanović

Beograd, maj 2016.

Tiraž: 150 primeraka

Štampa: **Planeta print**,

11000 Beograd, Igora Vasiljeva 33r, tel.: 011 650 6564

ISBN 978-86-7083-893-2

40. JUPITER KONFERENCIJA

PROGRAMSKI I NAUČNI ODBOR

Predsednik:

Prof. dr Dragan Milutinović, Mašinski fakultet Beograd

Članovi: Prof. dr Slavko Arsovski, MF Kragujevac • Prof. dr Bojan Babić, MF Beograd • Prof. dr Božica Bojović, MF Beograd • mr Goran Vujačić, VŽŠ Beograd • Prof. dr Miloš Glavonjić, MF Beograd • Prof. dr Saša Živanović, MF Beograd • Prof. dr Milan Zeljković, FTN Novi Sad • Prof. dr Milisav Kalajdžić, MF Beograd • dr Vladimir Kvrđić, LOLA Institut Beograd • Prof. dr Pavel Kovač, FTN Novi Sad • Prof. dr Miodrag Lazić, MF Kragujevac • Prof. dr Ljubomir Lukić, MF Kraljevo • Prof. dr Živana Jakovljević, MF Beograd • Prof. dr Vidosav Majstorović, MF Beograd • Prof. dr Vladimir Milačić, MF Beograd • Prof. dr Pavao Bojanić MF Beograd • Prof. dr Milorad Milovančević, MF Beograd • Prof. dr Zoran Miljković, MF Beograd • Prof. dr Bogdan Nedić, MF Kragujevac • Prof. dr Petar Petrović, MF Beograd • Prof. dr Miroslav Pilipović, MF Beograd • Prof. dr Radovan Puzović, MF Beograd • Prof. dr Slobodan Tabaković, FTN Novi Sad • Prof. Dr Zoran Radojević, FON Beograd • Prof. dr Žarko Spasić, MF Beograd • Prof. dr Ljubodrag Tanović, MF Beograd • Prof. dr Velimir Todić, FTN Novi Sad • Prof. dr Miroslav Trajanović, MF Niš • Prof. dr Saša Randelović, MF Niš • Prof. dr Ilija Ćosić, FTN Novi Sad • dr Nebojša Čović, Beograd • Prof. dr Emilia Assenova (Bugarska) • Prof. dr Vladimir I Averchenkov (Rusija) • Prof. dr Nikolai I. Bobir (Ukrajina) • Prof. dr Konstantin D. Bouzakis (Grčka) • Prof. dr Miodrag Bulatović (Crna Gora) • Prof. dr Radomir Vukasojević (Crna Gora) • Prof. dr Milan Vukčević (Crna Gora) • Prof. dr Dušan Golubović (BiH) • Prof. dr Doina Dragulescu (Rumunija) • Prof. dr Kornel Ehmann (SAD) • Prof. dr Alexander Janac (Slovačka) • Prof. dr Vid Jovišević (BiH) • Prof. dr Michael I Kheifetz (Belorusija) • Prof. dr Sergey A. Klimenko (Ukrajina) • Prof. dr Radovan Kovačević (SAD) • Prof. dr Andrey A. Kutin (Rusija) • Prof. dr Peter P. Melnichuk (Ukrajina) • Prof. dr Nicolae Negut (Rumunija) • Prof. dr Stanislaw Pytko (Poljska) • Prof. dr Sreten Savićević (Crna Gora) • Prof. dr Mirko Soković (Slovenija) • Prof. dr Victor K. Starkov (Rusija)

ORGANIZACIONI ODBOR

Predsednik:

Prof. dr Bojan Babić, Mašinski fakultet Beograd

Sekretar:

Prof. dr Saša Živanović, Mašinski fakultet Beograd

Članovi:

Doc. dr Branko Kokotović, MF Beograd • Doc. dr Nikola Slavković, MF Beograd • Asist. dr Goran Mladenović, MF Beograd • Dr Mihajlo Popović, MF Beograd • Asist. dr Slavenko Stojadinović, MF Beograd • Asist. Milica Petrović, MF Beograd • Asist. Jelena Petronijević, MF Beograd • Asist. Miloš Pjević, MF Beograd

Spisak svih radova na JUPITER Konferenciji
po prezimenu prvog autora

| | |
|--|------|
| Antić, A., Zeljković, M., Milošević, M. METODE IZDVAJANJA OBELEŽJA U SISTEMU ZA NADZOR ALATA PRI OBRADI TEŠKO OBRADIVIH MATERIJALA..... | 3.1 |
| Baralić, J., Nedić, B. GEOMETRIJA REZA PRI OBRADI ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM | 3.6 |
| Bracanović, Z., Petrović, V., Grozdanić, B., Borak, Đ. UTICAJI DOLAZNIH I ODLAZNIH PROCESA NA RAZVOJ KONKURENTSKE PREDNOSTI PREDUZEĆA..... | 4.44 |
| Dimić, Z., Milutinović, D., Živanović, S., Mitrović, S. METOD KONFIGURISANJA UPRAVLJAČKOG SISTEMA OTVORENE ARHITEKTURE REKONFIGURABILNOG ROBOTA ZA OBRADU | 3.12 |
| Drndarević, D., Milivojević, M. MODELLING WITH BACKPROPAGATION ALGORITHM | 1.1 |
| Dučić, N., Čojbašić, Ž., Slavković, R., Milićević, I. OPTIMIZACIJA SISTEMA LIVENJA NOSAČA ZUBA BAGERA VEDRIČARA..... | 2.1 |
| Đurašković, D., Janjić, M., Vukčević, M. MODELIRANJE I SIMULACIJA NAPREZANJA PLOČA OD LAMINIRANOG SIGURNOSNOG STAKLA..... | 2.7 |
| Đurđević, Đ., Anđelić, N., Maneski, T., Đurđević, A. NUMERIČKA ANALIZA NAPONA UŠKE NA KONTEJNERSKOM TERMINALU..... | 2.12 |
| Miloradović, N., Ilić, S., Vujanac, R. MODELIRANJE I PRORAČUN GRAĐEVINSKE STUBNE DIZALICE | 2.18 |
| Jovanović, R. J., Đukić, D. R. UTICAJ PROIZVODNO-TRANSPORTNE PARTIJE NA TRAJANJE TEHNOLOŠKOG CIKLUSA PROIZVODNE FAZE | 4.1 |
| Jovičić, G., Tabaković, S., Zeljković, M., Mladenović, C. STRUKTURNA OPTIMIZACIJA POKRETNE PLATFORME VIŠENAMENSKE MAŠINE ALATKE SA HIBRIDNOM KINEMATIKOM..... | 3.16 |
| Lukić, D., Milošević, M., Vukman, J., Đurđev, M., Antić, A. KONCEPTUALNO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA I PROCENA TROŠKOVA IZRADE..... | 1.6 |
| Marjanović, J., Gojgić, N. PRIMENA OLAP-a ZA ANALIZU PARAMETARA OPERCIJA U TEHNOLOŠKOM POSTUPKU | 1.14 |
| Marković, V., Jakovljević, Ž., Miljković, Z. SEGMENTACIJA JEDNE KLASJE POVRŠI DRUGOG REDA IZ STRUKTUIRANOG OBLAKA TAČAKA: PROBLEM ODREĐIVANJA PRAGOVA..... | 4.7 |
| Mitrović, A., Kovač, P., Kulundžić, N., Savković, B. MODELOVANJE I SIMULACIJA PROCESA OBRADJE GLODANJEM..... | 2.23 |
| Mitrović, S., Jakovljević, Ž., Dimić, Z., Miljković, Z. UPRAVLJANJE MOBILNIM ROBOTOM ZA ZAOBILAŽENJE PREPREKA U 2D PROSTORU PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA..... | 4.18 |
| Mladenović, G., Tanović, L., Pjević, M., Popović, M. OBRADA SKULPTORSKIH POVRŠINA - RAZVOJ CAD/CAM SISTEMA | 2.27 |
| Nestorov, A., Milanović, D., Misita, M. BAZNI MATEMATIČKI MODEL ZA PROJEKTOVANJE SOFTVERSKOG REŠENJA ZA UPRAVLJANJE LJUDSKIM RESURSIMA U CILJU POVEĆANJA KVALITETA I EFIKASNOSTI RADA..... | 1.19 |
| Papić, S., Klisura, F. UTICAJ STEPENA STRUČNOSTI LJUDSKIH RESURSA NA KVALITET GLAVNOG PROCESA PROIZVODNJE | 4.29 |

| | |
|--|------|
| Petronijević, J., Petrović, M., Vuković, N., Mitić, M., Babić, B., Miljković, Z. MULTIAGENTNI I HOLON TEHNOLOŠKI SISTEMI U PROJEKTOVANJU TEHNOLOŠKIH PROCESA I TERMINIRANJU PROIZVODNJE | 3.63 |
| Petrović, M., Petronijević, J., Mitić, M., Vuković, N., Miljković, Z., Babić, B. INTELIGENCIJA ROJA ČESTICA I TEORIJA HAOSA U INTEGRISANOM PROJEKTOVANJU I TERMINIRANJU FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH PROCESA..... | 3.22 |
| Pjević, M., Tanović, L., Mladenović, G. UTICAJ PUTANJE ALATA NA KRITIČNU DUBINU PRODIRANJA KOD MIKROREZANJA KRTIH MATERIJALA..... | 3.33 |
| Popović, M., Mladenović, G. АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИЈЕ РЕЗНИХ ЕЛЕМЕНАТА УРЕЗНИКА СА ПРАВИМ ЖЛЕБОВИМА | 2.33 |
| Slavković, N., Milutinović, D., Živanović, S. METOD KOMPENZACIJE GREŠAKA IZAZVANIH SILAMA REZANJE PRI OBRADI ROBOTIMA..... | 3.39 |
| Stojadinović, S., Majstorović, V., Durakbasa M., . МОДЕЛ ПЛАНИРАЊА ПУТАЊЕ ЗА ИНСПЕКЦИЈУ ПРИЗМАТИЧНИХ ДЕЛОВА НА МЕРНОЈ МАШИНИ | 5.1 |
| Vasilić, G., Živanović, S. ANALIZA RADNOG PROSTORA REKONFIGURABILNOG DVOOSNOG PARALELNOG МЕХАНИЗМА МОМА..... | 3.47 |
| Vujović, D., Nikšić, P., Nikšić, N. УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ У ПРОЦЕСИМА ЗАВАРИВАЊА, СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ НА РАДУ И ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ | 4.35 |
| Živanović, S., Kokotović, B., Slavković, N., Milutinović, D. KONFIGURISANJE MULTIFUNKCIONALNIH I REKONFIGURABILNIH MAŠINA ALATKI I METODI ZA NJIHOVO PROGRAMIRANJE I VERIFIKACIJU PROGRAMA OBRADE | 3.55 |

40. JUPITER KONFERENCIJA
sa međunarodnim učešćem

40th JUPITER CONFERENCE
with foreign participants

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS



27. simpozijum

CAD/CAM

Beograd, maj 2016.

CAD/CAM

| | |
|--|------|
| Dučić, N., Čojbašić, Ž., Slavković, R., Milićević, I. OPTIMIZACIJA SISTEMA LIVENJA NOSAČA ZUBA BAGERA VEDRIČARA..... | 2.1 |
| Durašković, D., Janjić, M., Vukčević, M. MODELIRANJE I SIMULACIJA NAPREZANJA PLOČA OD LAMINIRANOG SIGURNOSNOG STAKLA..... | 2.7 |
| Đurđević, Đ., Anđelić, N., Maneski, T., Đurđević, A. NUMERIČKA ANALIZA NAPONA UŠKE NA KONTEJNERSKOM TERMINALU..... | 2.12 |
| Miloradović, N., Plić, S., Vujanac, R. MODELIRANJE I PRORAČUN GRAĐEVINSKE STUBNE DIZALICE | 2.18 |
| Mitrović, A., Kovač, P., Kulundžić, N., Savković, B. MODELOVANJE I SIMULACIJA PROCESA OBRADE GLODANJEM..... | 2.23 |
| Mladenović, G., Tanović, L., Pjević, M., Popović, M. OBRADA SKULPTORSKIH POVRŠINA - RAZVOJ CAD/CAM SISTEMA | 2.27 |
| Popović, M., Mladenović, G. АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИЈЕ РЕЗНИХ ЕЛЕМЕНАТА УРЕЗНИКА СА ПРАВИМ ЖЛЕБОВИМА | 2.33 |





Mladenović G., Tanović Lj., Pjević M., Popović M. ¹⁾

OBRADA SKULPTORSKIH POVRŠINA - RAZVOJ CAD/CAM SISTEMA ²⁾

Rezime

U pogledu geometrijskih aspekata, opis skulptorskih površina je veoma dobro pokriven, međutim i dalje ostaju problemi kada je u pitanju stvarna proizvodnja jer u zavisnosti od generisane putanje alata zavisi cena izrađenog dela. U vezi sa ovim se nameće pitanje generisanja optimalne putanje alata koja će respektovati uslov obrade sa minimalnim vremenom, a u granicama dozvoljenog odstupanja i hrapavosti obrađene površine. U radu je prikazana metodologija razvoja CAD/CAM sistema za projektovanje tehnologije obrade glodanjem loptastim glodalom delova sa skulptorskim površinama.

Ključne reči: Skulptorske površine, CNC obrada, generisanje putanje alata

1. UVOD

Problemi obrade delova sa skulptorskim površinama su predmet proučavanja mnogih istraživačkih centara već više od 30 godina. Delovi sa skulptorskim površinama su prisutni u svim granama inženjerstva. Upotreba skulptorskih površina je prevashodno zbog poboljšanja dizajna, ili/i zbog poboljšanja funkcionalnih zahteva [1]. Kada je u pitanju mašinsko inženjerstvo najzastupljeniji su u oblasti automobilske i avio industrije, brodogradnje, proizvodnje kalupa za kovanje i livenje kao i u industriji proizvodnje robe široke potrošnje.

Kada je u pitanju dobijanje delova sa skulptorskim površinama najzastupljeniji je metod obrade glodanjem loptastim glodalom na 3 ili 5 osnim NUMA. Do sada je razvijeno više metoda za obradu skulptorskih površina, a tri najviše korišćenih su: izoparametarski [2], izoravanski [3] i izohrapavi [4]. U današnje vreme se ulažu veliki naponi za razvoj novih metoda generisanja i optimizacije putanje alata. Sam proces optimizacije putanje alata se može sprovesti kroz jedan ili više kriterijuma. Kada je u pitanju visekriterijumska optimizacija putanje alata neizostavno je uvođenje faktora kriterijuma optimizacije $w_i = \{0, 1\}$ pomoću kojih se definiše značaj svakog kriterijuma ponaosob.

Prateći ovaj trend, Katedra za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu je sprovedla višegodisnja istraživanja u ovoj oblasti. Posebni naponi se ulazu u razvoj metoda za optimizaciju putanje alata i razvoj novih CAD/CAM sistema. U radu je prikazana razvijena metodologija generisanja putanje alata na bazi učitanih CAD modela izratka i priprema, definisane hrapavosti (R_{max}) i tačnosti obrađene površine (h_{max}), skupa faktora uključenja/isključenja kriterijuma optimizacije (w_{PK} , w_{UK} , w_{Vs}) i baze podataka o raspoloživim alatima, parametrima obradljivosti i karakteristikama izabrane NUMA [5].

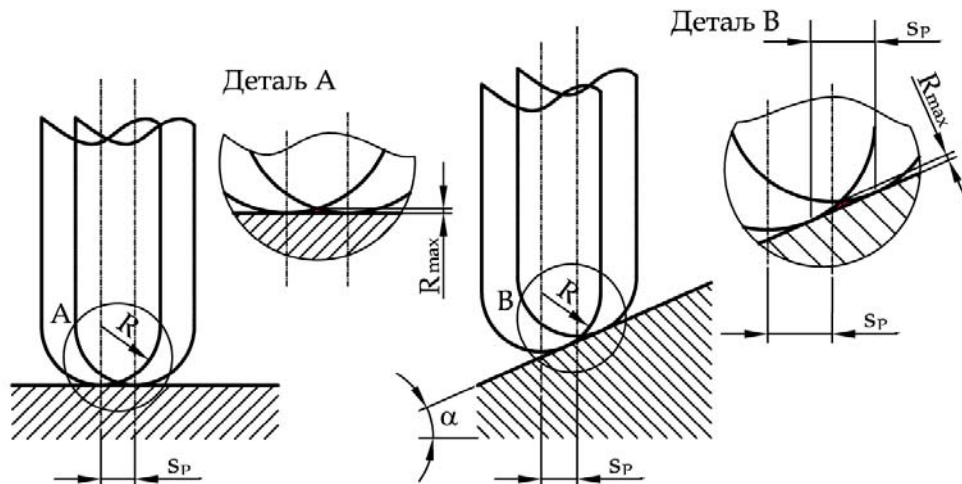
2. RAZVOJ CAD/CAM SISTEMA

Projektovani sistem je namenjen za klasu delova kod kojih je osnova kvadrat ili pravougaonik, a skulptorska površina se nalazi na jednoj strani dela. Razvijeni sistem za učitani CAD model izratka u STL formatu vrši izračunavanje tačaka preseka skulptorske površine i koordinatnih ravni (XZ i YZ) primenom algoritma za određivanje preseka trougla i ravni sa odgovarajućom rezolucijom. Za tako određeni skup presečnih tačaka se dalje formira interpolacioni polinom i na bazi toga izračunava minimalni radijus krivine na konveksnom delu putanje alata. Najmanja izračunata vrednost se dalje koristi da bi se na osnovu baze podataka automatski izabrao alat kojim bi se vršila obrada.

¹⁾ dr Goran Mladenović, (gmladenovic@mas.bg.ac.rs), prof. dr Ljubodrag Tanović, (ltanovic@mas.bg.ac.rs), Miloš Pjević, mast.inž.maš., (mpjevic@mas.bg.ac.rs), dr Mihajlo Popović, (mpopovic@mas.bg.ac.rs), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet Beograd

²⁾ U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koji su realizovani u okviru projekta TR 35022: Razvoj nove generacije domaćih obradnih sistema, koji finansijski Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije

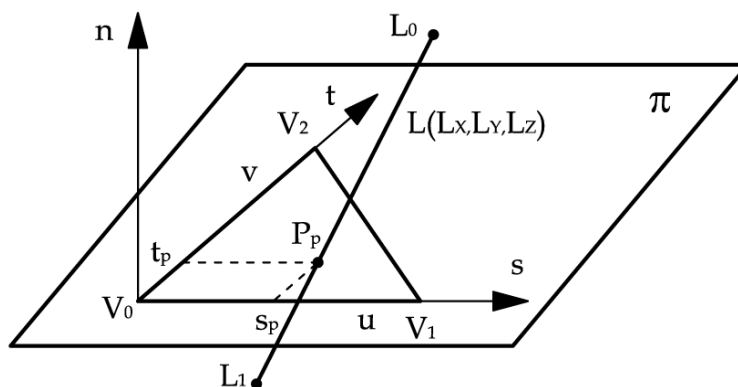
Na osnovu učitane geometrije izratka, definisanog prečnika alata i zahtevane tačnosti i hrapavosti obrađene površine, a prema modelu formiranja hrapavosti prikazanom na slici 1 vrši se izračunavanje vrednosti poprečnog (s_p) koraka prema procedurama datim u [6], a u zavisnosti od definisanih vrednosti faktora uključenja/isključenja kriterijuma optimizacije poprečnog (w_{PK}) koraka.



Slika 1. Model formiranja hrapavosti za CAD modele u STL formatu

$$s_p = \begin{cases} 2\sqrt{R^2 - (R - R_{\max})^2}, & \text{za } w_{PK} = 0 \\ 2 \cos \alpha \sqrt{R^2 - (R - R_{\max})^2}, & \text{za } w_{PK} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Iz razloga bržeg rada sistema i uključivanja mehanike procesa rezanja u generisanju putanje alata učitani CAD model priprema se konvertuje u model predstavljen pomocu Z mape koji je prvi uveo Anderson [7]. Za rezoluciju osnove Z-mape je izabran kvadrat čija je stranica jedinične dužine. Za formiranje internog zapisa priprema upotrebljen je algoritam za određivanje preseka zraka (prave) i trougla kojim je predstavljena skulptorska površina, slika 2.



Slika 2. Presek prave i trougla

Postoji više načina za određivanje tačke preseka prave i trougla, a u ovom slučaju je upotrebljen naizmenični metod [8] koji koristi direktne 3D proračune za određivanje tačke prodora. U algoritmu se koristi parametarska jednačina za definisanje ravni data preko dva parametara u, v :

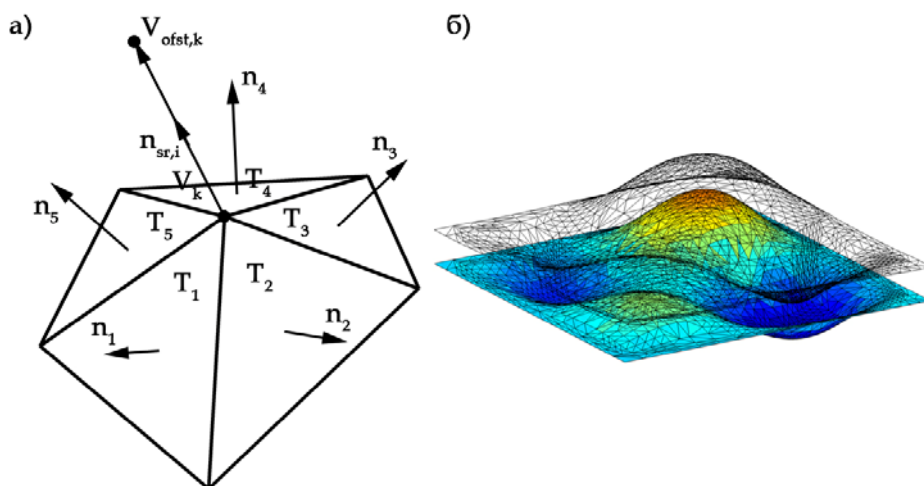
$$V(s, t) = V_0 + su + tv = V_0 + s(V_1 - V_0) + t(V_2 - V_0) = (1 - s - t)V_0 + sV_1 + tV_2 \quad (2)$$

gde su s, t realni brojevi, a u, v su vektori strana trougla T .

U slučaju projektovanja tehnologije obrade za CAD modele delova sačuvanih u STL formatu fajla koji u svojoj strukturi sadrži koordinate tačaka trouglova V_i , komponente vektora normale svakog trougla $n_i = [n_{xi}, n_{yi}, n_{zi}]$, kao i oznake tačaka koje formiraju trouglove moguće je direktno formirati ofsetovanu površinu (takode predstavljenu pomoću skupa trouglova) na rastojanju jednakom radijusu loptastog dela glodala (R) prema:

$$V_{ofst,i} = V_i + R \cdot n_{sr,k}, \quad i = 1, \dots, N \quad (3)$$

gde $V_{ofst,i}$ predstavlja ofsetovano teme i-tog trougla, N- ukupan broj temena trouglova, a $n_{sr,k}$ - osrednjeni vektor normale [9] u tački koja predstavlja zajedničko teme za više trouglova, slika 3a.



Slika 3. Osrednjeni vektor normale (a) i ofsetovana površina predstavljena trouglovima (b)

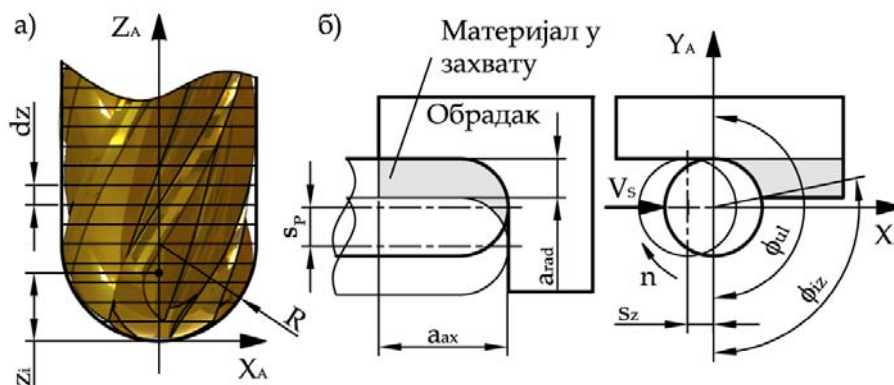
Na slici 3a je prikazan skup od pet trouglova sa jednim zajedničkim temenom (V_k) i osrednjenim vektorom normale ($n_{sr,k}$) u pravcu koga je za vrednost radijusa loptastog dela glodala ofsetovano zajedničko teme trouglova ($V_{ofst,k}$). U opštem slučaju osrednjavanje vektora normale zajedničkog temena se vrši prema [9]:

$$\vec{n}_{sr,k} = \frac{\sum_{j=1}^M N_{k,j}}{\left| \sum_{j=1}^M N_{k,j} \right|}, \quad 1 \leq k \leq M \quad (4)$$

gde M predstavlja broj trouglova koji imaju zajedničko teme.

U slučaju projektovanja tehnologije obrade sa variranjem brzine pomoćnog kretanja za uparene CAD modele izratka i priprema se dalje vrši analiza dubine i širine glodanja duž putanje alata i na osnovu formiranog modela za predikciju sile glodanja vrši izračunavanje potrebne brzine pomoćnog kretanja u svakoj tački lokacije alata za izabranu kombinaciju materijala i geometrije alata i materijala priprema. Brzina pomoćnog kretanja se određuje tako da rezultujuća sila glodanja ne pređe maksimalnu dozvoljenu vrednost koja je definisana u bazi podataka za svaki prečnik loptastog glodala. Naravno, predviđene su granice minimalne i maksimalne dozvoljene brzine pomoćnog kretanja prema opsegu koji je usvojen prilikom izrade modela za predikciju sile glodanja. Dva su razloga za uvođenje ograničenja brzine pomoćnog kretanja jer mesta sa velikom dubinom rezanja mogu proizrokovati brzinu pomoćnog kretanja blisku nuli. Analogno, mesta sa malom dubinom rezanja mogu proizrokovati isuviše veliku vrednost brzine pomoćnog kretanja što se može odraziti na kvalitet obrađene površine. U slučaju da vrednost brzine pomoćnog kretanja dostigne minimalnu dozvoljenu vrednost, a vrednost sile glodanja bude veća od maksimalno dozvoljene dobija se obaveštenje da se površina ne može obraditi zadatim režimima obrade pa je potrebno obradu izvršiti iz više prolaza.

U projektovanom sistemu je prihvaćen model za predikciju sile glodanja koji podrazumeva podelu loptastog glodala diskovima elementarne debljine dz , slika 4a, a prema proceduri datoj u [10]. Količina materijala u zahvatu se određuje prema dubini (a_{ax}) i širini (a_{rad}) glodanja, sa ograničenjem da je projekcija zahvaćenog materijala na ravan upravnu na brzinu pomoćnog kretanja jedna zatvorena kontura. Iz razloga simulacije procesa obrade uveden je lokalni koordinatni sistem alata koji je postavljen tako da se X_A osa poklapa sa pravcem brzine pomoćnog kretanja dok je Y_A osa usmerena u desno gledajući u pravcu vektora brzine pomoćnog kretanja. Osa Z_A upotpunjuje Dekartov koordinatni sistem desne orijentacije, slika 4b.



Slika 4. Disretizacija reznog dela glodala (a), koordinatni sistem alata i količina materijala u zahvatu (b)

Ukoliko je u pitanju projektovanje tehnologije obrade sa optimizacijom hrapavosti obrađene površine potrebno je pri izboru brzine pomoćnog kretanja proveriti da li je zadovoljen uslov održanja hrapavosti na maksimalnu vrednost prema [11]:

$$V_s = \frac{1}{3} \cdot \frac{R_{max}^{k1}}{R^{k2}} \quad (5)$$

gde su: $k1$, $k2$ koeficijenti korekcije brzine pomoćnog kretanja.

Na osnovu karakteristika izabrane NUMA, tj snage pogonskih motora servoosa potrebno je proveriti uslov ograničenja koraka po maksimalnoj dozvoljenoj vučnoj sili prema NUMA [12]:

$$\frac{s_z^{y_0}}{n^{w_0}} \leq \frac{F_X \cdot D_{LG}^{i_0}}{0.4 \cdot C_p a^{x_0} b^{q_0} z \cdot k_F} \quad (6)$$

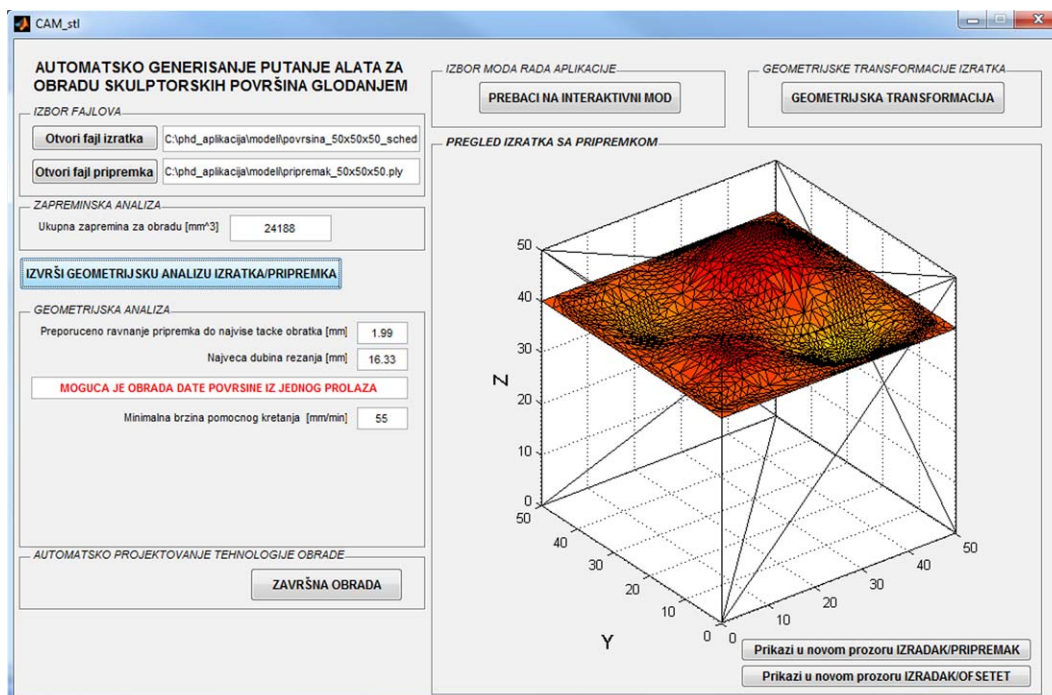
gde je: n - broj obrtaja, z - broj zuba, b - širina glodanja, $x_0, y_0, q_0, w_0, i_0, C_p, k_F$ - koeficijenti i parametri obradljivosti [13].

Analizom razvijenih strategija obrade komercijalnih CAM sistema, u sistem su ugrađene tri strategije za obradu skulptorskih površina i to: (1) obrada u jednom pravcu, (2) ZIG-ZAG strategija i (3) spiralna strategija. U procesu generisanja putanje alata prvo se sprovodi procedura generisanja segmenata putanje, a zatim procedura povezivanja segmenata putanje prema metodologiji opisanoj u [6].

3. RAZVOJ SOFTVERSKOG REŠENJA

Prema konceptu razvijenog sistema opisanom u prethodnom poglavlju primenom softverskog paketa MATLAB[®] (Matrix Laboratory) [14], verzija 7.12 – R2011a razvijeno je CAD/CAM softversko rešenje za proces automatskog projektovanja tehnologije obrade delova sa skulptorskim površinama. Na slici 5 je prikazan prozor formiranog softvera gde je sukcesivnim otkrivanjem polja omogućeno jednostavno rukovanje softverom prema formiranim procedurama opisanim u prethodnom poglavlju. Softver je u mogućnosti da prikaže upozorenje u slučajevima kada je površinu nemoguće uraditi iz jednog prolaza, a što je uslovljeno izabranim prečnikom alata i odnosom geometrije izradak/pripremak. Krajnji izlaz iz razvijenog softvera je NC kod za obradu dela na osnovu učitanih CAD modela izratka i priprema, materijala

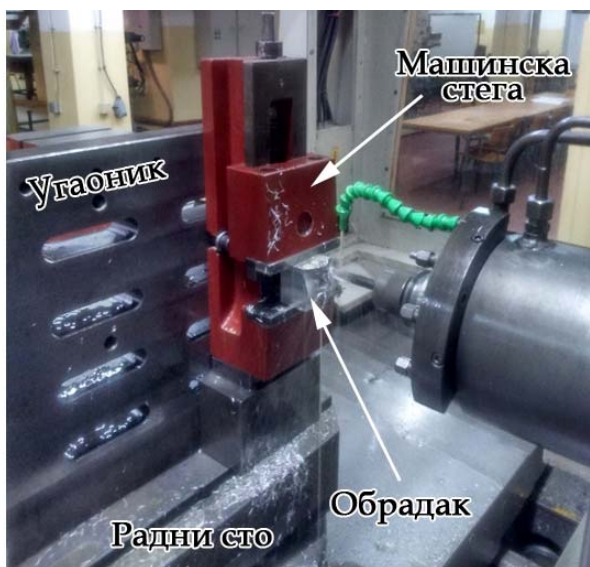
priprema, definisanog kvaliteta i tačnosti obrade i vrednostima skupa faktora uključenja/isključenja kriterijuma optimizacije putanje alata.



Slika 5. Prozor razvijenog softverskog rešenja

4. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

U cilju verifikacije rada razvijenog softvera, a samim tim i razvijenih metoda generisanja i optimizacije putanje alata pristupilo se projektovanju tehnologije obrade delova sa skulptorskim površinama (na bazi učitanih CAD modela izratka i priprema generisanih u nekom od komercijalnih CAD sistema u STL formatu fajla) i samoj izradi prema generisanim NC kodovima. Mašinska obrada delova je vršena na horizontalnom obradnom centru ILR–HMC500/40, upravljačka jedinica FANUC O-M. Pripremak je u ovom slučaju baziran i stegnut u steznom priboru postavljenom na ugaonik i radni sto obradnog centra, slika 6.



Slika 6. Eksperimentalna postavka obrade dela na obradnom centru

Korišćeni material priprema je AlMg4.5Mn, a alat je loptasto glodalo materijala HSSE (8% Co) prečnika 12mm sa dva zuba, ugla nagiba zavojnog žljeba cilindričnog dela 30°.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana razvijena metodologija visekriterijumske optimizacije putanje alata pri obradi delova sa skulptorskim površinama glodanjem loptastim glodalom. Razvijena metodologija je zatim primenom softverskog paketa MATLAB implementirana u jedinstveno softversko rešenje za proces automatskog projektovanja tehnologije obrade delova sa skulptorskim površinama. Za CAD modele izratka i priprema formiranih u nekom od komercijalnih CAD/CAM sistema je izvršeno je generisanje upravljačkog koda čijom je primenom izvršena obrada delova i time verifikovan rad razvijenog softverskog rešenja. Primena razvijenog softverskog rešenja je od velikog značaja u slučajevima kada je gruba obrada ujedno i završna obrada čime se smanjuju troškovi obrade za dati deo.

6. LITERATURA

- [1] Mladenovic G., Tanovic L.J., Ehmann K.F.: *Tool Path Generation for Milling of Free Form Surfaces With Feedrate Scheduling*. FME Transactions, 43(1): pp. 9-15, 2015.
- [2] G.C. Loney, T.M. Ozsoy: *NC machining of free form surfaces*, Computer-Aided Design, Vol. 19 No.2, pp. 85–90, 1987.
- [3] Z.L. Han, D.C.H. Yang: *Iso-phot based tool-path generation for machining free-form surfaces*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, ASME Transactions, Vol. 121 No.4, pp. 656–664, 1999.
- [4] K. Suresh, D.C.H. Yang: *Constant scallop height machining of free form surfaces*, Journal of Engineering for Industry, ASME Transactions, Vol.116, pp. 253–259, 1994
- [5] Mladenovic G. *Optimizacija putanje alata pri obradi skulptorskih površina glodanjem*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
- [6] P. Bojanić: *Generisanje putanje alata pri obradi skulptorskih površina na 3-osnim CNC mašinama loptastim glodalom, 33rd Savetovanje proivodnog mašinstva Srbije, Zbornik radova*, pp. 115-118, Beograd, Mašinski fakultet Beograd, 16-17 Jun, 2009.
- [7] Anderson. R.O.: *Detecting and eliminating collisions in NC machining*. Computer-Aided Design, **10**(4), pp. 231-237, 1978.
- [8] Möller T., Trumbore B.: *Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection*. Journal of Graphics Tools, **2**(1), pp. 21-28, 1997.
- [9] Malosio M., Pedrocch N., Molinari Tosatti L.: *Algorithm to Offset and Smooth Tessellated Surfaces*. Computer-Aided Design and Applications, **6**(3), pp. 351-636, 2009.
- [10] Altintas Y.: *Manufacturing Automation – Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- [11] Chen J.S., Huang Y.K., Chen, M.S.: *Feedrate optimization and tool profile modification for the high-efficiency ball-end milling process*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, **45**(9), pp. 1070-1076, 2005.
- [12] Tanović Lj., Petrakov IO.: *Teorija i simulacija procesa obrade*. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2007.
- [13] Kalajdžić M., Tanović Lj., Babić B., Miljković Z., Puzović R., Kokotović B., Popović M., Živanović S., Tošić, D., Vasić I.: *Tehnologija obrade rezanjem – Priručnik*. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2014.
- [14] URL: <http://www.mathworks.com/>

Mladenović G., Tanović Lj., Pjević M., Popović M.

SCULPTURED SUFRACE MILING - THE DEVELOPMENT OF CAD/CAM SYSTEM

Abstract: While the geometric aspects of the design for sculptured surfaces are relatively well-covered, issues still remain when it comes to the actual manufacture of parts because cost of the part directly depends of generated tool path. Regarding with this, arises the question about optimal tool path generation which will respect the requirement of minimal machining time. The paper present description of CAD/CAM system development for ball-end milling.

Key words: Sculptured surfaces, CNC machining, tool path generation

CIP - Каталогизација у публикацији -
Народна библиотека Србије, Београд

658.5:004.384(082)(0.034.2)
004.896(082)(0.034.2)
621.7/.9-52(082)(0.034.2)
007.52:658.5(082)(0.034.2)
005.6(082)(0.034.2)

ZBORNIK radova [Elektronski izvor] = Proceedings / [33. simpozijum CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala [i] 27. simpozijum CAD/CAM [i] 36. simpozijum NU - ROBOTI - FTS [i] 42. simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala [i] 20. simpozijum Menadžment kvalitetom [sve ovo u okviru]] 40. Jupiter konferencija sa međunarodnim učešćem = 40th Jupiter Conference with Foreign Participants, Beograd, maj 2016. ; [organizator] Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet = University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering. - Beograd : Univerzitet, Mašinski fakultet, 2016 (Beograd : Planeta print). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemski zahtevi: PDF čitač. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 150. - Bibliografija uz većinu radova. - Abstracts.

ISBN 978-86-7083-893-2

1. Јупитер конференција (40 ; 2016 ; Београд) 2. Симпозијум CIM у стратегији технолошког развоја индустрије прераде метала (33 ; 2016 ; Београд) 3. Симпозијум CAD/CAM (27 ; 2016 ; Београд) 4. Симпозијум NU - ROBOTI - FTS (36 ; 2016 ; Београд) 5. Симпозијум Управљање производњом у индустрији прераде метала (42 ; 2016 ; Београд) 6. Симпозијум Менаџмент квалитетом (20 ; 2016 ; Београд) 7. Машински факултет (Београд)
а) CIM системи - Зборници б) CAD/CAM системи - Зборници с) Машине алатке - Нумеричко управљање - Зборници д) Роботи - Зборници е) Флексибилни технолошки системи - Зборници ф) Металоперађивачка индустрија - Управљање - Зборници г) Управљање квалитетом - Зборници

COBISS.SR-ID 223381516

ISBN 978-86-7083-893-2



9 788670 838932 >