



OBRADA SLOŽENIH POVRŠINA GLODANJEM – POREĐENJE STRATEGIJA OBRADE

Rezime

U današnje vreme je sve češća upotreba delova sa složenim površinama u svim granama mašinstva više iz estetskih nego iz funkcionalnih razloga. Dok su geometrijski aspekti veoma dobro pokriveni i dalje ostaju problemi kada je u pitanju stvarna proizvodnja jer u zavisnosti od generisane putanje alata zavisi cena izrađenog dela. Kada se govori o izboru optimalne putanje alata mora se voditi računa o kvalitetu obrađene površine, minimizaciji ukupnog vremena obrade, kontroli intenziteta sile rezanja itd. U radu je prikazano poređenje različitih strategija obrade komercijalnih CAD/CAM softvera za obradu glodanjem loptastim glodalom na primeru jednog dela sa složenom površinom.

Ključne reči: Složena površina, putanja alata, loptasto glodalo

1. UVOD

Danas su mnogi proizvodi projektovani primenom slobodnih (složenih, skulptorskih) površina kako u brodogradnji, automobilske i avio industriji, tako i u procesu projektovanja livačkih i kovačkih kalupa za različite mašinske delove. Upotreba složenih površina je prevashodno iz estetskih razloga, međutim postoje i slučajevi kada je njihova upotreba iz funkcionalnih razloga. Kada se govori o složenim površinama neizostavna je upotreba CAD/CAM sistema kako bi se površina analitički opisala, a samim tim i odredila odgovarajuća putanja alata. Najčešći postupci obrade su 3 i 5 – osnim glodanjem loptastim glodalom. Kako je na loptastom delu glodala promenljiva brzina rezanja to je jako teško održavati važeće parametre procesa obrade, a sve u cilju postizanja zadovoljavajućeg kvaliteta obrađene površine. Kvalitet i tolerancija obrađene površine direktno zavise od prethodno generisane putanje alata gde sa smanjenjem tolerancije eksponencijalno raste količina podataka koju treba smestiti u upravljačku jedinicu mašine alatke pa je u nekim slučajevima potrebno dati NC program deliti u segmentima što predstavlja dodatni problem za projektanta tehnologije [1]. Sila rezanja koja deluje na obradak je jedna od promenljivih koja značajno utiče na kvalitet obrađene površine pa je zbog toga potrebna dodatna pažnja pri izboru parametara procesa obrade da ne bi došlo do loma alata ili pak do preopterećenja pogonskih motora servo osa mašine alatke.

Određivanje putanje alata je veoma važan korak u procesu projektovanja tehnologije izrade delova sa složenim površinama. Kada se govori o određivanju optimalne putanje alata za obradu slobodnih površina potrebno je istovremeno zadovoljiti više parametara, kao što su: količina podataka koju treba smestiti u upravljačku jedinicu mašine alatke, kvalitet i tačnost obrađene površine, sile rezanja, ukupno vreme obrade i slično. Da bi se dobila optimalna putanja alata, a sve u cilju postizanja zadovoljavajućeg kvaliteta obrađene površine i optimalnog vremena obrade prisutna su različita specifična ograničenja, na primer, za slučaj grube obrade potrebno je minimizirati vreme obrade dok kvalitet obrađene površine nije toliko značajan, dok kod završne obrade treba voditi računa da visina neravnina ne prelazi dozvoljeno odstupanje propisano tehničkom dokumentacijom, a pri tome vreme obrade nema značajnu ulogu u projektovanju tehnologije obrade. Idealna putanja alata bi trebala da obezbedi uniformnu raspodelu visine neravnina po obrađenoj površini [2]. Manja visina neravnina od propisane tehničkom dokumentacijom ne znači nužno i bolju putanju alata jer se povećanje broja prolaza odražava na povećanje vremena obrade, a time i cene datog dela.

Pri obradi slobodnih površina prisutne su sledeće faze: gruba, predzavršna i završna obrada. Pri gruboj obradi veliki deo materijala je skinut da bi se dobio približni oblik površine. Neravnine koje su ostale nakon

¹⁾ Goran Mladenović, dipl.inž.maš., (gmladenovic@mas.bg.ac.rs), Prof. dr Ljubodrag Tanović, (ltanovic@mas.bg.ac.rs), Miloš Pjević, MSc.inž.maš., (mpjevic@mas.bg.ac.rs), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za Proizvodno mašinstvo, Centar za nove tehnologije

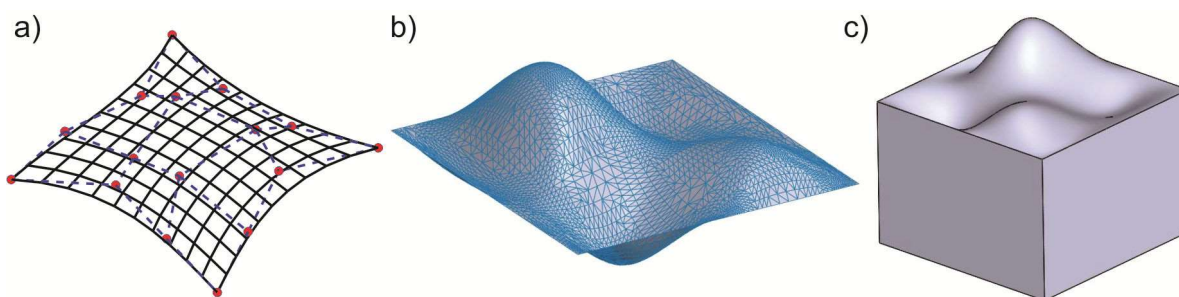
grube obrade, a koje su uslovljene upotrebom alata velikog prečnika se uklanjaju u predzavršnoj obradi da bi se dobila ofsetovana površina (na rastojanju jednakom dodatku za finu obradu) koja će se obraditi u završnoj obradi što dovodi do smanjenja ukupnog vremena obrade [3, 4]. Pri gruboj obradi je potrebno ukloniti što je moguće više materijala za što kraće vreme pa se u današnje vreme istraživanja usmeruju na tu stranu. Prilikom projektovanja tehnologije, izbor parametara obrade kao što je broj obrta glavnog vretana, brzina pomoćnog kretanja i dubina rezanja se vrši na osnovu iskustva projektanta ili na osnovu baze podataka izabranog CAM softvera [5].

Skulptorka površina je najčešće predstavljena kao bikubna Bezier-ova, B splajn ili NURBS površina, a definiše se preko kontrolnih tačaka koje su zadate u dekartovim koordinatama. Svaka tačka na površini se izračunava prema odgovarajućim obrascima u funkciji dva parametra, u i v. Osobina navedenih površina je da zadržavaju kontinuitet drugog reda koji je različit od nule čime se obezbeđuju kontinualni prelazi između površina. Zadavajući vrednost jednog parametra možemo odrediti krivu u funkciju drugog parametra čime se može generisati mreža površine, slika 1a.

Do sada su razvijena tri metoda obrade složenih površina i to:

- Izoparametarski metod – putanja alata se poklapa sa izoparametarskim linijama slobodne površine,
- Izoravanski metod – putanja alata se poklapa sa nekom od koordinatnih osa mašine alatke,
- Izohrapavi metod – određena putanja alata respektuje uslov iniformne raspodele visina neravnina obrađene površine.

Rad predstavlja uporednu analizu više komercijalnih CAD/CAM softvera za proces predobrade i grube završne obrade na primeru dela prikazanog na slici 1c koji je modeliran upotrebom CAD softverskog paketa SolidWorks2014.



Slika 1. Mreža površine (a), CAD model generisanje površine (b), solid model dela za obradu (c)

2. POREĐENJE STRATEGIJA OBRADE

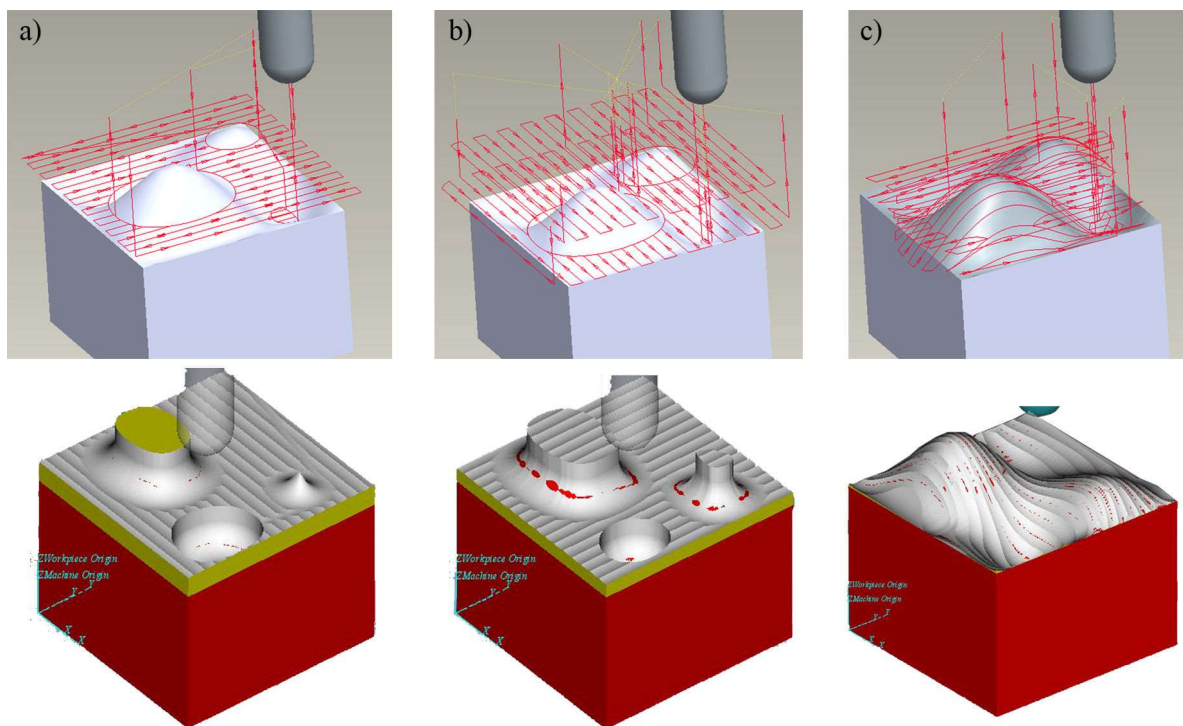
U cilju pregleda trenutnog stanja komercijalnih CAD/CAM softvera u nastavku se daje pojedinačni opis postupka generisanja putanje alata za obradu 3-osnim glodanjem gore navedenog dela sa opisom prednosti i nedostataka korišćenih softvera. Korišćeni parametri obrade su: alat – loptasto glodalo sa dva zuba prečnika 12mm i ugla nagiba zavojnog žljeba 30° materijala HSSE (8% Co), brzina rezanja 40m/min čemu odgovara broj obrta glavnog vretena od 1060o/min, material obratka AlMg4.5Mn dimenzije 50x50x50mm. Brzina pomoćnog kretanja i dubina rezanja variraju od strategije do strategije, a sve u cilju minimizacije ukupnog vremena obrade. Veličina poprečnog koraka je usvojena da bude 3mm, a određena je na osnovu maksimalno dozvoljene visine neravnina koja je u ovom slučaju usvojena da bude 0.19mm. Analizom geometrije pripremljena i gotovog dela je utvrđeno da dubina rezanja varira u opsegu 1.8 – 22.3mm, pa je na osnovu maksimalne dubine rezanja i usvojene vrednosti poprečnog koraka upotrebom razvijenog softvera [1] dobijena vrednost brzine pomoćnog kretanja tako da maksimalna sila u ravni upravnoj na osu alata ne pređe vrednost od 600N čime se izbegava mogućnost da dođe do loma alata.

2.1 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0®

Prethodno modeliran deo je uvežen u CAM modul softvera Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 gde je izvršeno modeliranje pripremljena i definisanje parametara operacije. Izabrani softver ima mogućnost izbora više različitih strategije obrade, kao što su: zapreminsko glodanje, glodanje po trajektoriji, predobrada, površinsko glodanje, izrada rupa i otvora itd. Radi preglednosti, poredjenje različitih strategija obrade je prikazano u tabeli 1 sa navedenim parametrima koji mogu da budu iskorišćeni radi izbora optimalne strategije obrade izabranog softvera.

Tabela 1. Usporedna analiza više strategija obrade softvera Pro/ENGINEER Wildfire 4.0					
Naziv strategije obrade	Maksimalna dubina rezanja [mm]	Brzina pomoćnog kretanja [mm/min]	Glavno vreme obrade [min]	Broj rečenica NC koda	Oznaka slike putanje alata
Zapreminsko glodanje (Volume milling)	10	80	20:54	288	sl. 2a
Gruba obrada (Roughing)	10	80	39:63	250	sl. 2b
Površinsko glodanje (Surface mill)	10	80	28:05	1057	sl. 2c

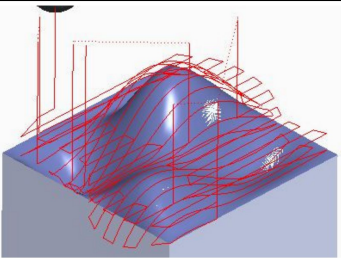
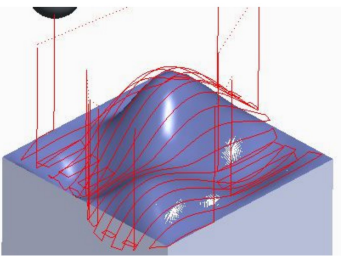
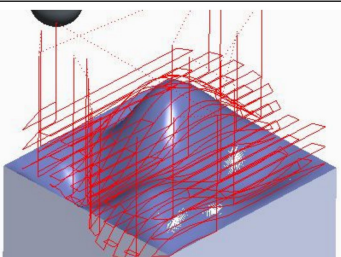
Radi preglednosti na slici 2 su prikazane tri generisane putanje alata gde se uočavaju nedostaci pojedinih strategija obrade. Za prikaz simulacije procesa obrade korišćen je modul Vericut izabranog softvera. Na osnovu tabele 1 može se uočiti da postoji razlika u vremenima obrade do 35%. Kada se govori o izboru optimalne putanje alata mora se uzeti u obzir više kriterijuma. Ukoliko je kriterijum za izbor putanje alata minimizacija vremena obrade svakako će se izabrati strategija sa slike 2a, međutim data strategija za sobom povlači da se nakon nje mora koristiti stragetija pod nazivom “Re-rough” koja uklanja nedostatke prethodne obrade da bi se dobio približni oblik željene površine što će se svakako odraziti na povećanje ukupnog vremena obrade date površine. Izborom strategije sa slike 2b dobija se ušteda u memoriji upravljačke jedinice mašine alatke, ali se vreme obrade znatno povećava. Ukoliko se zahteva da je gruba obrada ujedno i završna obrada opravdano je korišćenje stragetije sa slike 2c koja ima veće vreme obrade u odnosu na minimalno moguće za grubu obradu (sl. 2a), ali se to povećanje vremena obrade opravdava činjenicom da nakon izabrane obrade (sl. 2c) nije potrebna naknadna obrada.



Slika 2. Putanja alata i izgled obrađenog dela za izabrane strategije obrade

2.2 Creo Parametric 2.0®

Po istoj proceduri kao i za prethodno opisani softver izvršeno je projektovanje tehnologije za grubu obradu dela prikazanog na slici 1c. Pošto je izabrani softver razvijen na osnovi prethodnog to je i logika projektovanja tehnologije slična za oba CAD/CAM paketa. Creo parametric 2.0 je nastao 4 godine nakon Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 i doneo je par novih strategija obrade, međutim ni jedna od njih se ne odnosi na obradu složenih površina. Iz ovog razloga se u nastavku daje detaljnija analiza strategije površinskog glodanja (Surface mill) jer se pretpostavlja da je, u ovom slučaju data grubu obrada ujedno i završna. Parametri koji su varirani, a koji utiču na kvalitet i ukupno vreme obrade su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Usporedna analiza više strategija površinske obrade softvera Creo Parametric 2.0					
RB	Maksimalna dubina rezanja [mm]	Brzina pomoćnog kretanja [mm/min]	Glavno vreme obrade [min]	Broj rečenica NC koda	Putanja alata
1	10	80	27:06	1065	
2	15	40	41:52	925	
3	5	160	23:88	1279	

Analizirajući podatke date u tabeli 2 može se doći do sledećih zaključaka:

- U pogledu izbora parametara procesa obrade kojima odgovara minimalno ukupno vreme obrade, a uz zanemarivanje broja rečenica NC koda i kvaliteta obrađene površine opravdano je korišćenje obrade sa manjim dubinama rezanja i većim brzinama pomoćnog kretanja,
- Kako se kod izabrane strategije putanja alata poklapa sa nekom od koordinatnih osa mašine alatke to se na mestima gde je nagib površine veći dobija veća hrapavost od propisane jer poprečnom koraku od 3mm i radijusu loptastog dela glodala od 6mm odgovara visina neravnina od 0.19mm samo na ravnom delu površine

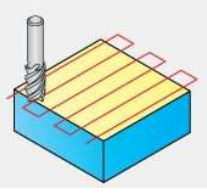
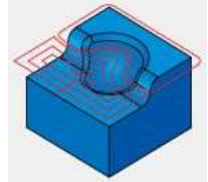
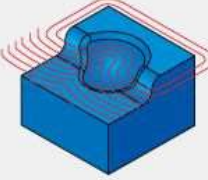
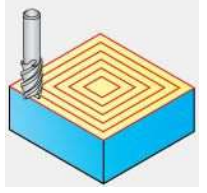
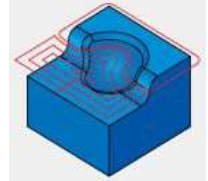
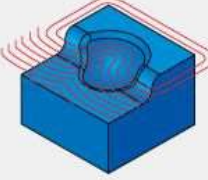
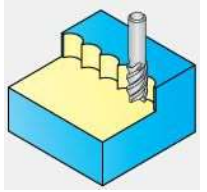
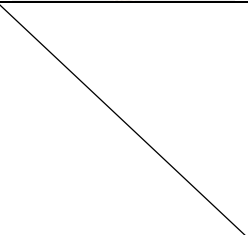
Ukoliko se u parametrizaciji za definisanje izabrane strategije obrade pod rednim brojem 1 iz tabele 2 doda zahtevana visina neravnina dobija se putanja alata koja ima u svom NC kodu 1593 rečenica i ukupno vreme obrade od 45:54 min.

2.3 SolidCAM 2010®

Po proceduri kao u odeljku 2.1 izvršeno je projektovanje tehnologije izrade dela prikazanog na slici 1. Izabrani softverski paket SolidCAM 2010, pored ostalih ima strategiju obrade pod nazivom „3D MILLING OPERATION“ u okviru koje se dalje mogu definisati dodatna podešavanja. Prvo se odnosi na strategiju obrade koja može biti:

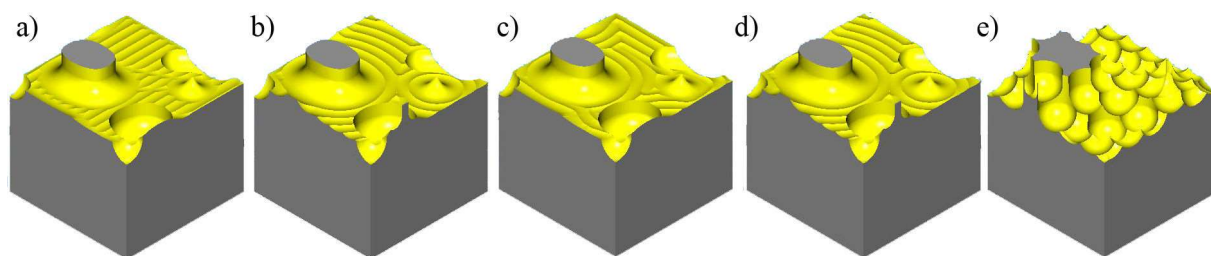
- Hatch – putanja alata se poklapa sa jednom od koordinatnih osa mašine alatke,
- Contour – putanja alata predstavlja ofsetovanu konturu dela za veličinu poprečnog koraka,
- Plunging pattern – proces obrade je sličan procesu bušenja tako da se putanja alata u zahvatu poklapa sa Z osom mašine, a na delu ostaju udubljenja koja su jednaka prečniku alata.

Prve dve strategije obrade imaju dodatni izbor podstrategija koje se odnose na dodatno definisanje kretanja alata prilikom izrade džepova. Zbog specifičnosti strategije „Plunging pattern“ ne postoji izbor dodatne podstrategije obrade kao kod prethodne dve. Usporedna analiza više strategija izabranog softvera za iste parametre procesa obrade kao i prethodno analiziranog (Pro/ENGINEER) je prikazana u tabeli 3.

Tabela 3. Uporedna analiza više strategija grube obrade softvera SolidCAM 2010						
Skica strategije obrade	Skica podstrategije obrade	Maksimalna dubina rezanja [mm]	Brzina pomoćnog kretanja [mm/min]	Glavno vreme obrade [min]	Broj rečenica NC koda	Slika dela
 Hatch		10	80	17:38	884	sl.3a
		10	80	12:35	430	sl.3b
 Contour		10	80	15:06	1043	sl.3c
		10	80	12:20	425	sl.3d
 Plunging pattern		10	80	12:39	119	sl.3e

Analizom rezultata datih u tabeli 3 može se doći do zaključka da prva strategija ne daje velike razlike u pogledu ukupnog vremena obrade u odnosu na strategiju zapreminskog glodanja softvera Pro/ENGINEER, dok je međutim, broj rečenica NC koda znatno veći kod ovog softvera. Ostale četiri strategije daju kraće vreme obrade, a posebno peta strategija uz to i najmanji broj rečenica NC koda, međutim postavlja se pitanje koliko je data strategija upotrebljiva za slučaj obrade loptastim glodalom malog prečnika kao što je u ovom slučaju 12mm.

Na slici 3 su prikazane simulacije procesa obrade glodanjem za date strategije odakle se može primetiti da se pri svakoj izabranoj strategiji dobija približni oblik površine koji zahteva dodatnu dalju obradu.



Slika 3. Prikaz simulacije procesa obrade izborom datih strategija softvera SolidCAM

Radi poređenja sa softverom Creo Parametric gde je za 45:54 minuta dobijena kompletno obrađena površina sa visinom neravnina od 0.19mm, u slučaju softvera SolidCAM upotrebom strategije sa slike 3d uz dodatnu završnu obradu isti oblik površine se dobija za ukupno vreme obrade od 38:59 min.

3. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena uporedna analiza 3 vodeća CAM softvera na primeru jednog dela sa istim parametrima procesa obrade i zahtevanim kvalitetom obrađene površine. Utvrđeno je da izbor strategije obrade u velikoj meri utiče na ukupno vreme obrade, broj rečenica NC koda i kvalitet obrađene površine. Izbor adekvatne strategije obrade zavisi prvenstveno od zahteva korisnika gde je na primer, sa zahtevom da gruba obrada bude ujedno i završna obrada opravdano korišćenje strategije površinske obrade softvera Pro/ENGINEER ili Creo Parametric. U slučaju da je nakon grube obrade potrebna dodatna obrada neznatna je razlika u vremenima sva tri izabrana softvera jer će u svakom slučaju biti potrebna predzavršna i završna obrada.

Razlika u vremenima obrade delova sa slike 1 i slike 3 se može objasniti i činjenicom da nije ista količina zapremine koja se skida grubom obradom za sva data dva softvera, pa bi i ovo trebalo uvrstiti kao kriterijum za dalju analizu jer je povoljnija strategija obrade koja skida što je moguće više zapremine u procesu grube obrade kako bi u procesu fine obrade mogli da se koriste alati manjeg prečnika.

Za slučaj kada je gruba obrada ujedno i završna obrada potrebna je dodatna analiza strategija optimizacije putanje alata po više kriterijuma. Jedan od kriterijuma je da se cela površina obrađuje iz jednog prolaza uz variranje brzine pomoćnog kretanja u cilju održanja konstantne sile rezanja, a danas su istraživanja usmerena na tu stranu.

4. LITERATURA

- [1] G. Mladenović, Lj. Tanović, M. Popović: *Tool Path Optimization For Machining Of Free Form Surfaces*, Proceedings of the XII International Conference Maintenance And Production Engineering, pp. 239-247, Budva, Engineering Academy Of Montenegro, Montenegro, June, 2014
- [2] C. Manav, H.S. Bank, L. Lazoglu: *Intelligent toolpath selection via multi-criteria optimization in complex sculptured milling*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 24, Issue 2, pp. 349-355, 2011.
- [3] Y.S. Lee, B.K. Choi, T.C. Chang, *Cut distribution and cutter selection for sculptured surface cavity machining*, International Journal of Production Research, 30 (6) (1992), pp. 1447-1470
- [4] Y. Ren, H.T. Yau, Y.S. Lee, *Clean-up tool path generation by contraction tool method for machining complex polyhedral models*, Computers in Industry, 54 (1) (2004), pp. 17-33
- [5] Cus F., Zuperl U., Kiker E., Milfelner M., *Adaptive controller design for feedrate maximization of machining process*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 17, pp. 237-239, 2006.
- [6] *Solidcam 2010 Getting Started*, SolidCAM Inc., Newtown, PA 18940, United States, 2010
- [7] *Solidcam 2010 3d Milling User Guide*, SolidCAM Inc., Newtown, PA 18940, United States, 2010
- [8] PTC® PRODUCT & SERVICE ADVANTAGE, <http://www.ptc.com>, 2014
- [9] 3D CAD Design Software SOLIDWORKS, <http://www.solidworks.com>, 2014

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

FREE FORM MACHINING – COMPARISON OF MACHINING STRATEGIES

Abstract

Today, many products are designed by using freeform (sculptured) surfaces, in all fields of mechanical engineering industries more for aesthetic than functional reasons. While the geometric aspects of the design are relatively well-covered, issues still remain when it comes to the actual manufacture of freeform surfaces because of depending of generated toolpath depends price of machined part. When it talking about choosing the optimal tool path it must be taken into account the required surface quality, the minimization of the total machining time, the control of the magnitude of the cutting forces, etc. The paper presents a comparison of different machining strategies of commercial CAD/CAM software for ball-end milling on the example of a part with complex surface.

Key words: Freeform surface, toolpath, ball-end mill