

ANALIZA POGODNOSTI PRIMENE POJEDINIHZAHVATA OBRADU U PROCESU PROGRAMIRANJA NU OBRADNIHCENTARA ZA GLODANJE PRIMENOM CAM PROGRAMSKIH SISTEMA**ANALYSIS OF THE CONVENIENCE OF APPLYING CERTAIN MACHINING PROCEDURES IN THE PROCESS OF PROGRAMMING CNC MACHINING CENTERS FOR MILLING USING CAM SOFTWARE SYSTEMS**Stefan Pribičević, Slobodan Tabaković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U radu se vrši analiza pogodnosti programiranja 3-osne i pozicione 5-osne obrade glodanjem primenom CAM softvera Fusion 360 kao i njihov značaj u savremenim proizvodnim tehnologijama. Uvođenjem CAM (računarski podržane proizvodnje) softvera u moderne procese proizvodnje pokazalo se kao revolucionarna tehnologija omogućavajući značajno poboljšanje preciznosti, efikasnosti i ukupne automatizacije proizvodnih zadataka. Analiza je realizovana programiranjem 3-osne i pozicione 5-osne obrada na tipskom radnom predmetu koji se sastoji od kompleksnih površina. Na osnovu simulacije obrade izvršena je analiza vremena i produktivnosti obrade.

Ključne reči: Automatizovano programiranje NUMA, CAD, CAM, 5 osna obrada, Fusion 360

Abstract – The paper analyses the convenience of programming 3-axis and positional 5-axis milling using CAM software Fusion 360, as well as their importance in modern production technologies. The introduction of CAM (computer-aided manufacturing) software into modern manufacturing processes has proven to be a transformative technology, enabling significant improvements in precision, efficiency and overall automation of manufacturing tasks. The analysis was realized by programming 3-axis and positional 5-axis processing on a typical work item consisting complex surfaces. Based on machining simulation, an analysis of machining time and productivity was performed.

Keywords: Automated programming NUMA, CAD, CAM, 5-axis machining, Fusion 360

1. UVOD

Razvoj novih tehnologija u industriji je značajno uticao na proizvodne procese, kao i na tehnološke i programske sisteme i ovim značajno olakšao rad čoveka. Ovo je omogućilo smanjenje vremena proizvodnje kao i izradu složenijih proizvoda. Kako su zahtevi kupaca rasli, sa povećanom potražnjom za obradom delova nepravilnih oblika je podstaknuto intenzivnijeg unapređenja numerički upravljanih mašina alatki. Pojava NU mašina sa tri numerički upravljane ose znatno je olakšala posao operatera i poboljšala kvalitet izrade.

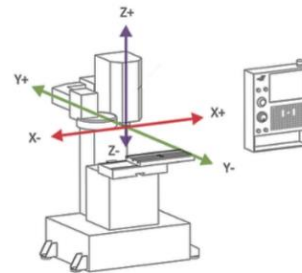
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Slobodan Tabaković, red. prof.

Vremenom i porastom potražnje za kompleksnijim proizvodima počeo je razvoj petoosnih mašina. Zbog kinematске strukture mašine pojedine zahvate obrade je nemoguće izvesti na troosnim mašinama ili je potrebno obradu podeliti na više podoperacija sa dodatnim stezanjima uz naginjanje radnog predmeta. Zbog toga je razvoj petoosnih mašina znatno povećala produktivnost i skratila vreme obrade ujedno omogućavajući izradu kompleksnijih proizvoda.

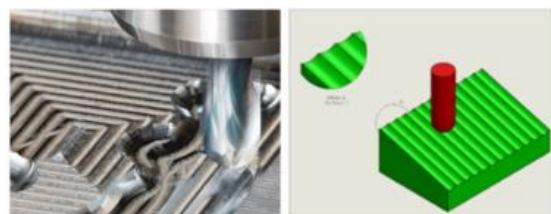
2. TROOSNA OBRADA

Mašine sa tri numeričke ose mogu biti realizovane u različitim izvedbama ali najčešće sa tri nezavisna linearna kretanja po 3 ose prema Dekartovom koordinatnom sistemu i obrtno kretanje odnosno obrtanje alata. (slika 2.1).



Slika 2.1: Dekartov koordinatni sistem na glodalici

Iako troosna obrada omogućava obradu kompleksnih proizvoda upotrebom alata sa oblim vrhom i dalje postoje ograničenja. Problem koji je prisutan kod troosnih obrada složenih površina je u kvalitetu obrađene površine. Naime, između vrha alata (najčešće vretenasta glodala sa loptastim završetkom) i obratka prilikom prolaska alata ostaje deo materijala koji nije moguće skinuti sa obrađene površine bez obzira na broj prolaza, pa se ne može izbeći dodatna završna operacija brušenjem i poliranjem. (slika 2.2). Osim kvaliteta površine takođe postoje i problemi dostupnosti obrade [1,2].

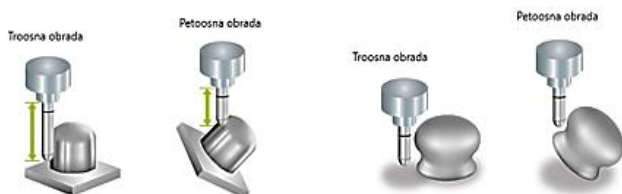


Slika 2.2: Ostatak materijala pri obradi kompleksnih površina

3. PETOOSNA OBRADA

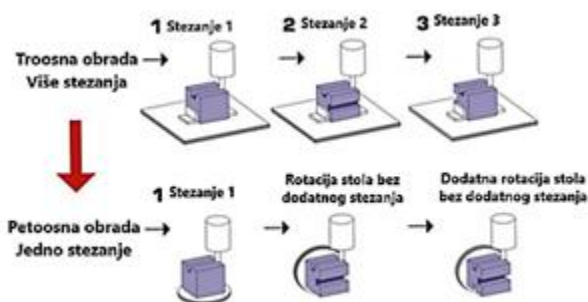
NU mašine sa pet numerički upravljanih osa za razliku od troosnih spored podsistema za pomoćno obrtno kretanje sadrže podsistem za glavno i pomoćno linearno kretanje. Kombinacijom ovih podsistema dobijamo različite strukture obradnih centara sa obrtnim stolom i sa obrtnim alatom (glavom alata). Petoosne mašine se izrađuju u više kombinacija. Primenom ovih mašina se složene nepravilne površine jednostavnije obrađuju jer je u jednom stezanju radnog predmeta moguće alat orijentisati u odnosu na površinu obrade pod bilo kojim uglom.

Uvođenje petoosnih obradnih mašina u industrijsku proizvodnju je omogućeno brzim razvojem CAD/CAM sistema, čime je značaj petoosnih mašina postao dosta izraženiji. Kao što je već napomenuto prednosti petoosne obrade u odnosu na troosnu nisu samo u uštedi vremena i boljem kvalitetu obrađene površine nego i u izradi kompleksnijih delova, naime iako postoji mogućnost da vrh alata bude pod uglom u odnosu na radni predmet uglavnom je vrh alata upravan na površinu, dok kod višeosnih obrada postoji mogućnost dodatnih pomoćnih kretanja koja eliminišu ovaj problem. Jedna od još važnih prednosti je upotreba kraćeg alata odnosno površine su dostižnije zbog dodatnih pomoćnih kretanja. (slika 3.1)



Slika 3.1: Dostupnost obrade kod petoosne (levo) i troosne (desno) obrade

Osim ovog takođe je bitno napomenuti da u uštedi vremena veliki uticaj ima eliminacija dodatnih stezanja. (slika 3.2). Samim tim je ukupno vreme obrade značajno smanjeno [3,4,5].



Slika 3.2: Broj stezanja kod troosne (gore) i petoosne obrade (dole)

3.1 Poziciona petoosna obrada

Kao što je ranije napomenuto pomoću pozicione petoosne obrade se u jednom stezanju može obraditi 5 od 6 strana prizmatičnog dela. U zavisnosti od konstrukcije mašine do jedne strane se može doći zakretanjem radnog stola ili vretena mašine, odnosno repositioniranjem radnog predmeta.

Petoosna poziciona obrada se može posmatrati kao konvencionalna troosna obrada sa rotiranjem stola oko odgovarajuće ose. Da bi se izvršilo rotiranje (pozicioniranje)

obratka u položaj za obradu, potrebno je izvršiti transformaciju koordinatnog sistema tako da je osa alata uvek u pravcu Z ose, a obrada se odvija u X/Y ravni. Ova vrsta obrade predstavlja kombinaciju obrade sa 5 stranica, kose ravni, obrade rupa i otvora. Procenjuje se da ovaj tip obrade čini 60% petoosne obrade. CAM softver je neophodan kod programiranja složenijih zadataka [2].

4. CAM

Prvi i komercijalno pogodniji za primenu programski sistemi razvijeni su sa ciljem da se geometrijski opisana putanja alata u automatizovanom ciklusu konvertuje u upravljački program za numerički upravljanje mašine.

Pod pojmom automatizovano programiranje numerički upravljanih mašina alatki podrazumeva se niz aktivnosti koje je neophodno obaviti da bi se od konkretnog radnog zadatka došlo do putanje alata i upravljačkog programa za upravljanje numerički upravljanim mašinom alatkom uz primenu odgovarajućeg programskog sistema. Njegovom primenom omogućena je izrada tehnoloških i upravljačkih podataka u proizvodnji: planovi stezanja, vrsta tehnologije obrade, popis alata i parametara obrade te stvaranje NC programa.

CAM softveri omogućuju simulaciju proizvodnje radnih predmeta. Ne bi trebalo zanemariti da je definisanje putanje kompleksan inženjerski problem sa kojim se obuhvata analiza i obrada niza geometrijskih, tehnoloških i eksploatacionih informacija.

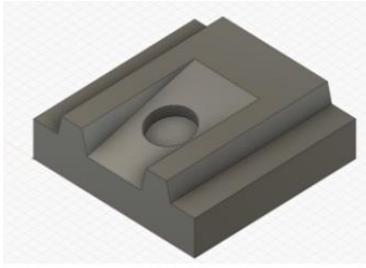
Praktična primena rezultata je moguća konverzijom putanje alata u neki od oblika koji je kompatibilan sa upravljačkim sistemom CNC mašine odnosno nakon postprocesiranja.

Programiranje troosnih mašina putem CAM softvera je znatno jednostavnije u odnosu na petoosne obrade. Osnova kod zadavanja geometrije kretanja alata je zadavanje putanja alata u zahvatu po obrađivanoj površini. Te površine se označavaju na CAD modelu u programu, te se u slučaju grube obrade može zadati sa određenim razmakom od konačne zahtevane površine. Na odabranoj površini se zatim određuje način na koji će ona biti obrađena. Načini obrade zavise od korištenog CAM programa.

Nakon što je putanja alata zadata biraju se njeni parametri i to najviše u zavisnosti od zahteva kvaliteta obrađene površine. Određuju se zatim odstupanja između obrađivane površine i putanje alata. Realna obrađena površina uvek se razlikuje od površine CAD geometrije zbog inkrementalnog kretanja alata. Putanja alata se podeli na inkremente koji zadržavaju istu orijentaciju alata na određenom zadanom razmaku kretanja alata. Ako su tolerancije manje na putanji se generiše više tačaka. Ovo povećava kvalitet obrađene površine, ali se zato produžava vreme proračuna [2,3].

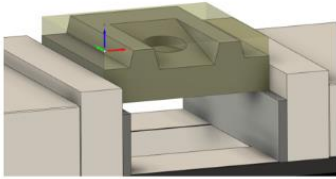
5. PROGRAMIRANJE TROOSNE OBRADNE

Cilj ovog rada jeste analiza pogodnosti i poređenje 3-osne i pozicione 5-osne obrade na osnovu više kriterijuma. Prilikom programiranja troosne obrade prvo je bilo potrebno napraviti 3D model radnog komada (slika 5.1).



Slika 5.1: 3D model ranog komada

Zatim je bilo potrebno definisati pripremak, plan stezanja, plan alata i plan obrade. Kao pribor za stezanje koristila se generična stega, gde je komad stegnut na 2 površine i položen na paralelne površine (slika 5.2).



Slika 5.2: 3D model plana stezanja

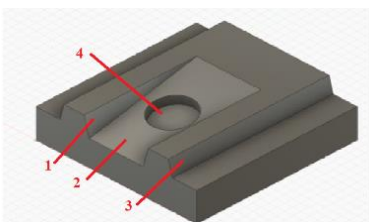
Kao pripremak se koristila ploča dimenzija 31mm x 100mm x 100mm. Svi alati koji su korišteni su od kompanije SANDVIK Coromant. Pretpostavlja se da je pripremak od nerđajućeg čelika. Prilikom 3-osne obrade korištena su 3 alata:

- 316-25HM450-25030P 1730 – Glava za glodanje
- R216.24-10050BCC22P 1620 – Vretenasto glodalo
- 1B240-0400-XA 1630 – Loptasto glodalo

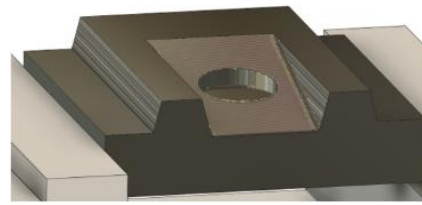
Zatim je neophodno sve podatke o alatima uneti u softver. Nakon ovog koraka potrebno bilo je definisati koordinatni sistem obrade (slika 5.2). Prema geometriji i dela usvojen je sledeći plan obrade.

- Čeono glodanje
- Gruba obrada strane 1
- Gruba obrada strane 2
- Gruba obrada džepa
- Fina obrada džepa
- Fina obrada strane 1
- Fina obrada strane 2
- Fina obrada ravnih površina

Pretpostavka je da bez obzira na broj prolaza nikada se na označenim površinama (slika 5.3) neće dobiti zadovoljavajući kvalitet obrađene površine i uvek će postojati potreba za dodatnim obradama. Pošto je alat upravan na z-osu, označene površine je nemoguće obraditi sa zadovoljavajućom tačnošću i kvalitetom obrađene površine, dok se na površinama 1, 2 i 3 uspela dobiti približna geometrija. Rupu, odnosno površinu 4, nemoguće je obraditi, (slika 5.3) jer nije u ravni sa z-osom. Nakon izvršene obrade na modelu su se vizuelno mogle primetiti talasaste površine (slika 5.4)



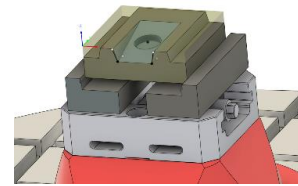
Slika 5.3: Prikaz kompleksnih površina



Slika 5.4: 3D model obrađenog dela troosnom obradom

6. PROGRAMIRANJE POZICIONE PETOOSNE OBRADNE

Prilikom programiranja pozicione petoosne obrade takođe je bilo potrebno odraditi pripremnu fazu kao i kod troosne obrade. Stezanja se vršilo mašinskom stegom namenjenom za petoosne obrade (slika 6.1).

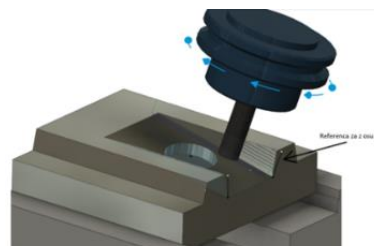


Slika 6.1: 3D model plana stezanja petoosne obrade

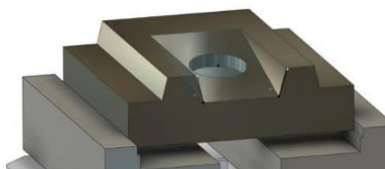
Koristili su se identični alati, režimi obrade i priprema sa izuzetkom loptastog glodala koje u ovom slučaju nije bilo potrebno. Plan obrade prilikom pozicione petoosne obrade je:

- Čeona obrada
- Gruba obrada strane 1
- Gruba obrada strane 2
- Gruba obrada džepa
- Obrada rupe
- Obrada strane 1
- Obrada strane 2
- Obrada horizontalnih površina strane 2
- Obrada horizontalnih površina strane 1
- Fina obrada džepa
- Obrada unutrašnje strane džepa 1
- Obrada unutrašnje ivice džepa 1
- Obrada unutrašnje strane džepa 2
- Obrada unutrašnje ivice džepa 2

Za razliku od troosne obrade prilikom programiranja pozicione petoosne obrade bilo je potrebno definisati koordinatni sistem po potrebi za sve obrade osim čeone, i grubih obrada, jer su se one samo koristile da se obradi što više materijala za kraće vreme. Za ostale obrade je definisan koordinatni sistem na osnovu geometrije modela osim za obrade unutrašnje strane džepa gde to nije bilo moguće, pa se koristila metoda manualnog proračunavanja i zatim ručnog crtanja skice koja je služila kao parametar za definisanje z-ose (slika 6.2). Pretpostavlja se da su odstupanja od modela minimalna ili ih nema (slika 6.3).



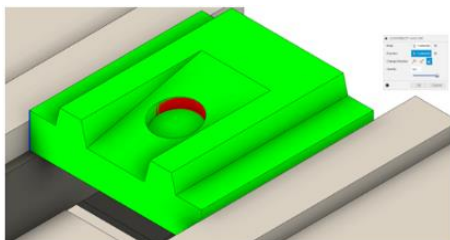
Slika 6.2: Referenca za Z-osu



Slika 6.3: 3D model obrađenog dela petoosnom obradom

7. ANALIZA I POREĐENJA TROOSNE I POZICIONE PETOOSNE OBRADNE

Pre samog početka 3-osne obrade u Fusionu 360 odrađena je analiza pristupačnosti obrade (slika 7.1) gde su zelenom bojom označene pristupačne površine, a crvenom nepristupačne. Nakon analize obrađenog dela dolazi se do zaključka da obrada u nepristupačnom delu nije bila moguća i tu je ostala velika količina zaostalog materijala. Ono što je bilo od posebnog značaja je poređenje zaostalog materijala na kompleksnim površinama koje su označene na slici 5.3.



Slika 7.1: Analiza pristupačnosti alata prilikom troosne obrade

Takođe se vršilo i poređenje dve obrade na osnovu vremena obrade i količina brzog i radnog kretanja. Merenje zaostalog materijala se radilo funkcijom u Fusion-u 360 „Stock to Model”. U Tabeli 7.1 su date vrednosti zaostalog materijala:

Tabela 7.1: Prikaz zaostalog materijala

Količina zaostalog materijala na površini	Troosna obrada	Poziciona petoosna obrada
1	0,154mm	0mm
2	0,7mm	0mm
3	0,332mm	0,001mm
4	3,38mm	0,212mm

U tabeli 7.2 su prikazana poređenja na osnovu ostalih kriterijuma.

Tabela 7.2: Prikaz rezultata

Vrsta obrade	Vreme obrade	Kolicina brzog pomaka	Količina radnog pomaka
Troosna obrada	0:32:27	12,2454m	36,1368m
Poziciona petoosna obrada	0:22:19	4,55664m	8,39478m

8. ZAKLJUČAK

Nakon izvršene analize i poređenja može se zaključiti da se postiže znatno veća produktivnost upotrebom petoosne obrade. Razlika u vremenu obrade je 0:10:08 minuta. Ovo nije realan prikaz, jer nakon troosne obrade radni komad mora da ide na jednu ili nekoliko dodatnih zahvata gde bi morao da se vrši plan stezanja pod raznim uglovima kako bi se dobila potrebna geometrija.

Ovo bi dodatno povećalo vreme i cenu izrade radnog predmeta, dok je kod pozicione petoosne obrade količina zaostalog materijala minimalna. Treba takođe napomenuti da ove vrednosti mogu da se smanje kod obe obrade upotrebom drugačijih strategija obrade sa više prolaza. U odnosu na troosne obradne centre za glodanje, petoosne glodalice su znatno skuplje i treba ih koristiti samo u slučaju kada cena opravdava brzinu i kvalitet obrade.

Radni predmet nije fizički proizveden, izvršena je samo simulacija koja je veoma približna fizičkoj obradi, jer u CAD/CAM softverima radni komad nema tolerancije dok u stvarnom radnom okruženju svaki deo ima odstupanja od idealnih mera.

9. LITERATURA

- [1] B. Sredanović, *Obradni sistemi za obradu rezanjem*. Banja Luka, 2014.
- [2] S. Tabaković, *Osnove računarom integrisane proizvodnje i karakteristični modeli CIM sistema*. Novi Sad: Fakultet Tehničkih Nauka, 2012.
- [3] M. Zeljković, *Osnove CAD/CAE/CAM tehnologija*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2018.
- [4] Siemens. 840 D sI SINUMERIK „Operate 5- Axis-Workshop Technology Milling.” *Training documentation*. Erlangen: Siemens, 2011. Vol. 2011.01.
- [5] URL: <http://www.pudak-machinery.com/5-axis-machining.php/> (pristupljeno u maju 2022)

Kratka biografija:



Stefan Pribičević rođen je u Vukovaru 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Proizvodno mašinstvo odbranio je 2023. god.

kontakt: stefanpribicevicinz@gmail.com



Slobodan Tabaković rođen je u 1974. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2008. god., a od 2018. god. je u zvanju redovnog profesora. Oblast interesovanja su mu: Mašine alatke, Fleksibilni tehnološki sistemi i automatizacija postupaka projektovanja.