

Tehnologija izrade profilnih koturastih glodala 3+2 osnim brušenjem na horizontalnom obradnom centru

MILAN D. MILUTINOVIĆ, Akademija tehničkih
strukovnih studija, Beograd
GORAN V. VASILIC, Akademija tehničkih
strukovnih studija Beograd
SAŠA T. ŽIVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Mašinski fakultet, Beograd
BRANKO M. KOKOTOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Mašinski fakultet, Beograd
NIKOLA R. SLAVKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Mašinski fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 621.914.3

DOI: 10.5937/tehnika2203321M

U ovom radu je prikazana tehnologija izrade profilnih koturastih glodala sa karbidnim pločicama od tvrdog metala sa posebnim osvrtom na postupak petoosnog brušenja (izrada profilnog sečiva) na CNC brusilici. Na osnovu analize kinematike petoosnog brušenja uspostavljen je nov koncept tehnologije izrade profilnih koturastih glodala 3+2 osnim brušenjem na obradnom centru. Primenom novog koncepta, izvršena je obrada brušenjem jednog zuba profilnog glodala čime je verifikovan nov koncept tehnologija izrade.

Ključne reči: profilna koturasta glodala, brušenje, karbidne pločice, strategija 3+2 osne obrade

1. UVOD

Izrada profilnih koturastih glodala pored konvencionalnih mašina alatki (univerzalnog struga, glodalice, brusilice...) [1] zahteva i petoosnu CNC brusilicu koja profilniše sečivo alata koje je složenog oblika. U pitanju je mašina alatka sa vrlo složenom kinematikom i sa visokom cenom koštanja.

Na osnovu analizirane kinematike brušenja na standardnim petoosnim CNC brusilicama (proizvođača Schneeberger-Sirius sa konfiguracijom A'OXYZC) [2] i [3], razvijena je tehnologija 3+2 osnog brušenja na klasičnom horizontalnom obradnom centru koji se može naći gotovo u svakom bolje opremljenom mašinskom parku.

Program koji se piše za operaciju 3+2 osnog brušenja na obradnom centru ima standardnu sintaksu kao i bilo koji program (G-kod) s tim da u programu isključivo figuriše linearna prostorna interpolacija. To

znači da se svaki složeni profil praktično diskretizuje sa pravolinijskim segmentima.

2. STATIČKA GEOMETRIJA KOTURASTIH GLODALA

Rezni alati predstavljaju važan segment u finalnoj obradi drveta. Rezni alati svojom složenom geometrijom omogućavaju da se, u jednom prolazu, naprave složene površine na izratku koje su ranijih godina mogle da se kreiraju u više prolaza, korišćenjem manje složenih alata, uz obavezno prisustvo vrlo iskusnih operatera na mašinama [4], [5].



Slika 1 – Rezni alati za obradu drveta. a) koturasti, b) vretenasti

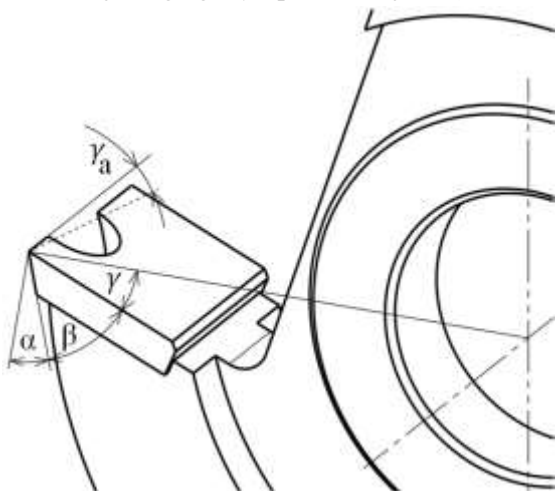
Adresa autora: Milan Milutinović, Akademija tehničkih strukovnih studija, Beograd, Katarine Ambrozić 3
e-mail: mmilutinovic@tehnikum.edu.rs

Rad primljen: 22.04.2022.

Rad prihvaćen: 11.05.2022.

Rezni alati za obradu drveta mogu se podeliti u dve velike grupe: koturasta i vretenasta glodala (profilna ili ravna), slika 1.

Na slici 1 prikazani su tipični primeri koturastih i vretenastih profilnih glodala koja se sastoje od tela glodala koje je napravljeno od konstrukcionog čelika (C45) i profilne karbidne pločice koja je tvrdo za-
lemljena za telo alata. Složeni profili koje glodala treba da ostvare uz postizanje željene tačnosti, kvaliteta obrade i produktivnosti podrazumevaju i složenu reznú geometriju (promenljiv grudni ugao γ u svakoj tački profila glodala, konstantan leđni ugao α , postojanje grudno aksijalnog ugla γ_a , podbrušenja itd.), slika 2.

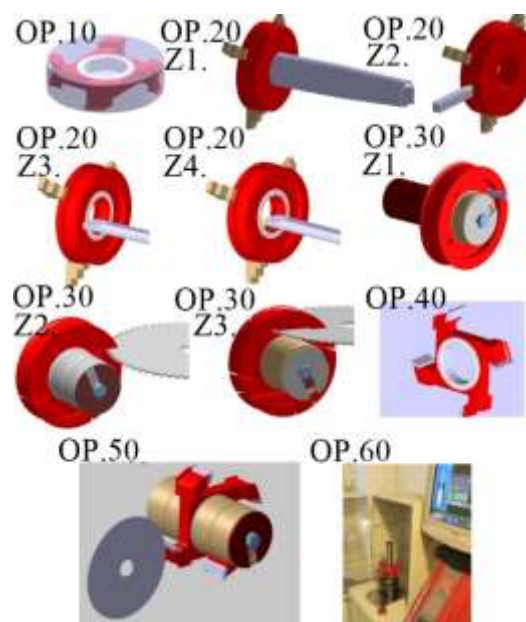


Slika 2 – Geometrija koturastog glodala

Napominje se da grudno aksijalni ugao (koji u suštini formira zavojno sečivo) uvek ide od minimalnog prečnika glodala ka maksimalnom – kaskadno povećanje prečnika (na profilnom glodalu sa slike 2 grudno aksijalni ugao je ucrtan a u stvarnosti ne postoji). Kod simetričnih profila kao i onih kod kojih prečnici glodala naizmenično rastu i opadaju ne uvodi se grudno aksijalni ugao.

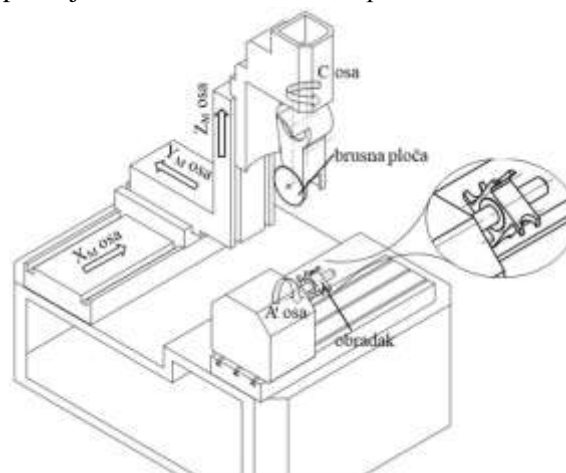
3. TEHNOLOGIJA IZRADE PROFILNIH KOTURASTIH GLODALA

Kao što je poznato, geometrija alata, kao radnog predmeta (statička geometrija) [6], pri projektovanju mora biti u potpunosti definisana kako bi se omogućilo efikasno projektovanje tehnologije izrade. U ovom radu razmatraće se tehnologija izrade koturastih profilnih glodala za obradu drveta. Za izradu profilnih koturastih glodala neophodne su: konvencionalne mašine (mašina za sečenje šipkastih polufabrikata, univerzalni strug, univerzalna glodalica, univerzalna oštrilica), uređaj za tvrdo lemljenje pločica od tvrdog metala za telo glodala, CNC petoosna brusilica (proizvođača Schneberger ili Volmer [2,3,7]) i mašina za balansiranje. Na slici 3 je prikazana uprošćena tehnologija izrade profilnog koturastog glodala.



Slika 3 – Tehnologija izrade profilnih koturastih glodala (OP.10 Sečenje šipkastog polufabrikata, OP.20 Struganje, OP.30 Glodanje, OP.40 Tvrdo lemljenje karbidne pločice za telo glodala, OP.50 profilisanje pločice na 5-osnoj CNC mašini, OP.60 Balansiranje..

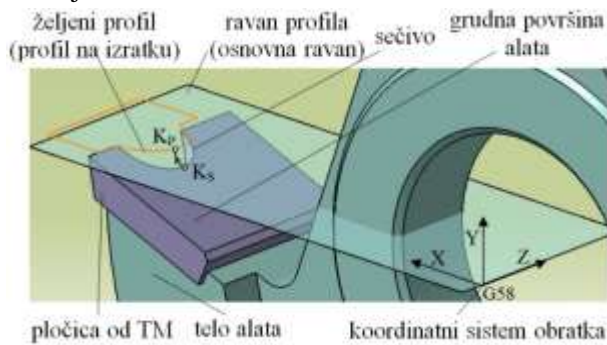
Tehnologija izrade koturastih glodala može se podeliti na dve grupe operacija. Prva grupa operacija se odnosi na izradu tela glodala koga pokrivaju operacije OP.10, OP.20 i OP.30. Operacijom OP.10 se od šipkastog polufabrikata odsecanjem dobija cilindrični oblik spreman za dalju obradu. Zahvatima na strugu u okviru operacije OP.20 se dobija cilindrični oblik sa unutrašnjim otvorom za pričvršćivanje budućeg glodala na vratilo mašine za obradu drveta dok spoljašnji omotač odgovara profilu koji se želi dobiti. Operacijom OP.30 se uklanja višak materijala sa tela glodala i priprema površina na kojoj se operacijom OP.40 leme karbidne pločice.



Slika 4 – Petoosna CNC brusilica, Schneberger-Sirius, konfiguracija A'OXYZC

Druga grupa operacija se odnosi na izradu profilnog-složenog sečiva na petoosnoj CNC brusilici i kontrolu dobijenog glodala (operacije OP.40, OP.50 i OP.60). U ovom radu posebna pažnja biće posvećena operaciji 50 koja se odnosi na profilisanje pločice od tvrdog metala brušenjem na petoosnoj CNC brusilici koristeći dijamantsku brusnu ploču. U pitanju je izrada složene rezne ivice - profila pa se brušenje izvodi po konturi i koristi se petoosna CNC brusilica, strukture A' OXYZC, čija je konfiguracija prikazana na slici 4.

Profilno glodalo obrtanjem oko svoje ose formira konačan profil u tzv. ravni profila koja za glodalo predstavlja osnovnu ravan, slika 5.

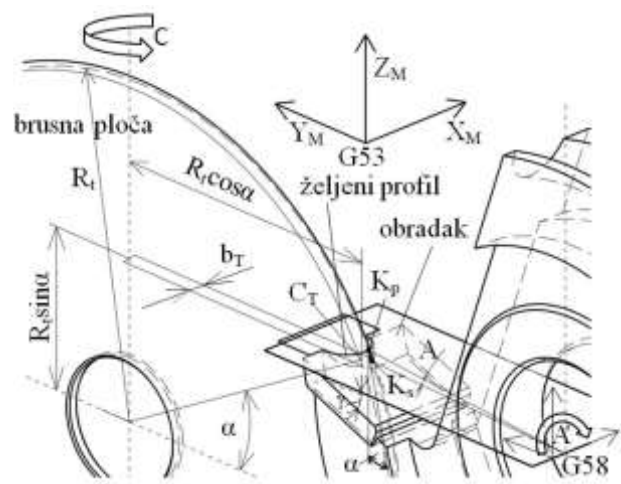


Slika 5 – Način formiranja željenog profila na izratku

Tačka sečiva K_s , koja se nalazi u ravni grudne površine, obrtanjem glodala oko svoje ose prolazi kroz odgovarajuću tačku profila K_p u ravni profila. Suština pristupa izrade profilnih glodala na petoosnoj brusilici je da kinematika rezanja (metod formiranja površine) profilnim koturastim glodalom bude i osnova za kinematiku brušenja. Naime, s obzirom da tačke sečiva K_s , koje se nalaze u ravni grudne površine, pri rotaciji glodala moraju da prođu kroz tačke profila K_p u osnovnoj ravni to je logično da se i tačke kontakta brusne ploče i tačke sečiva koje se formiraju ostvaruju u osnovnoj ravni rotacijom glodala (zuba) – radnog predmeta. Ovo znači da se sečivo na neki način rotacijom glodala stalno „podvlači“ ispod brusne ploče. I ako na prvi pogled ovaj pristup izgleda jednostavan, zbog složenosti profila i složene geometrije glodala [8, 9], za realizaciju postupka izrade rezne ivice su neophodne višeosne mašine alatke sa veoma složenom kinematikom i složenim upravljanjem. Složenost geometrije glodala i profila, složenost programiranja i činjenica da su projektovanje glodala i projektovanje tehnologije izrade veoma spregnuti, su usloveli razvoj specifičnog i vrlo specijalizovanog CAM softvera za ovaj pristup (Quinto) u čijoj je pozadini G – kôd koji je deo upravljačke jedinice Schneberger-Sirius CNC brusilice [10].

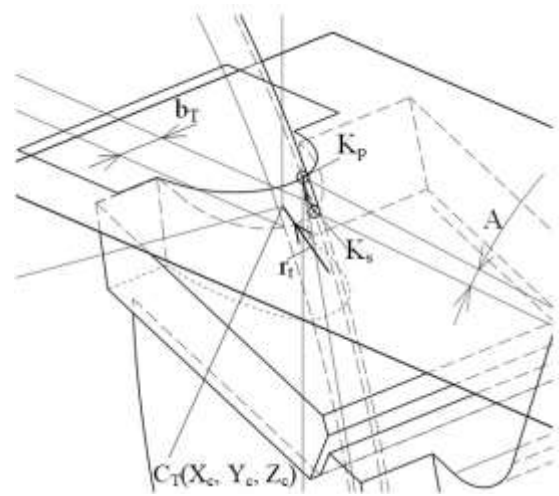
Detaljna analiza kinematike ovog pristupa je bila osnova za razvoj kinematičkog modela petoosne brusilice. U ovom radu se daju samo osnovni elementi ove kinematike na osnovu kojih je razvijen pristup izrade

glodala 3+2 osnom obradom na obradnom centru. Polazi se od jednog zuba (od tvrdog metala) koturastog profilnog glodala koji se na osnovu zadatog profila i zadate geometrije profiliše brušenjem, slika 6.



Slika 6 – Tehnologija izrade profilnog koturastog glodala na petoosnoj CNC brusilici, Schneberger-Sirius

Kao što se može uočiti sa slike 6, tački profila K_p u osnovnoj ravni treba da odgovara tačka sečiva K_s koja se nalazi u ravni grudne površine alata.

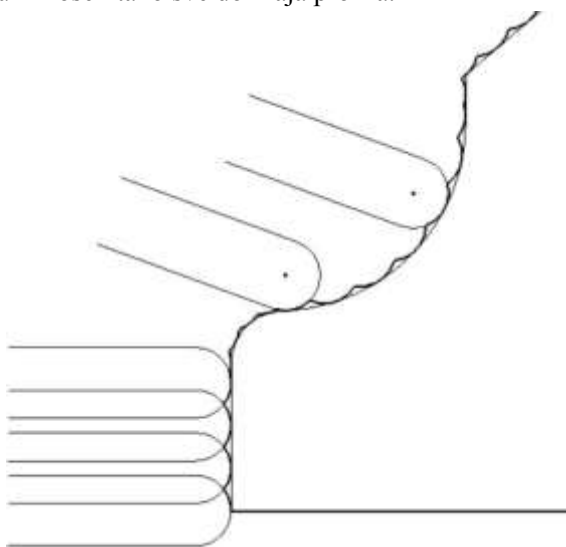


Slika 7 – Tehnologija izrade profilnog koturastog glodala na petoosnoj CNC brusilici, Schneberger-Sirius. Centar zaobljenja brusne ploče.

Uprošćena kinematika usvojenog pristupa izrade profilnog glodala dijamantskom brusnom pločom poluprečnika R_t i radijusa zaobljenja r_t je prikazana na slici 7. pri čemu je važno uočiti da se tokom obrade upravlja centrom zaobljenja brusne ploče C_T . Tačka sečiva na grudnoj površini K_s se mora rotacijom ose A' mašine dovesti u tačku profila K_p koja ujedno predstavlja i tačku kontakta brusne ploče i zuba glodala. Brusna ploča mora stalno biti pomerana duž Z_M ose mašine za $R_t \sin \alpha$ kako bi ledni ugao α bio konstantan

u svakoj tački sečiva K_{si} . Zbog konfiguracije profila brusna ploča se mora kontinualno ili poziciono zakrenuti osom mašine C. Ose pozicioniranja tocila X_M, Y_M, Z_M i ose orijentacije A' i C se izračunavaju iz geometrije profila i rezne geometrije glodala.

Strategija obrade na petoosnoj CNC brusilici odvija se u dva zahvata. Prvi zahvat je gruba obrada ili „ubadanje“ (slika 8), u kome se brusna ploča kreće sukcesivnim prolazima duž Z i Y ose do granica profila a obradak se kreće duž A' ose zatim se brusna ploča pomera za oko polovine debljine brusne ploče duž X ose i tako sve do kraja profila.



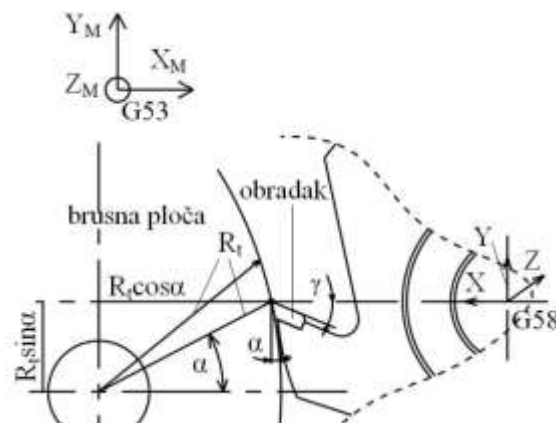
Slika 8 – Tehnologija izrade profilnog koturastog glodala na petoosnoj CNC brusilici, *Schneeberger-Sirius*, gruba obrada – ubadanje

Drugi zahvat je fino brušenje ili „čišćenje“ nakon koga se dobija konačan izgled profila glodala.

4. POSTAVKA KONCEPTA TEHNOLOGIJE IZRADE PROFILNIH GLODALA 3+2 OSNIM BRUŠENJEM NA OBRADNOM CENTRU

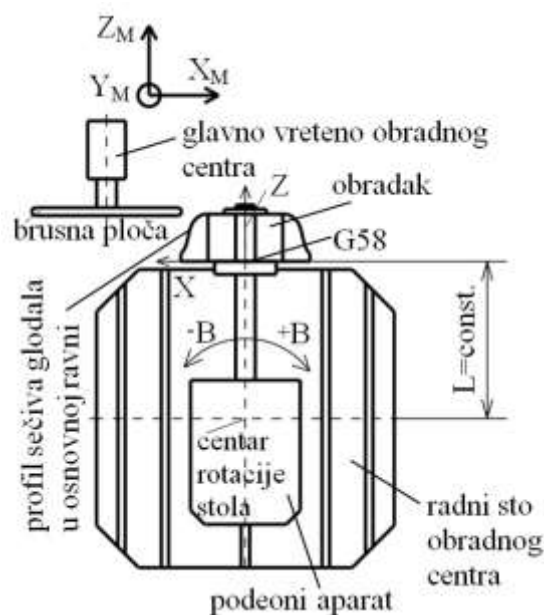
Osnovu ovog koncepta koji je, kao što je pomenuto, baziran na razvijenoj kinematici 5-osne brusilice A'OXYZC čine:

- Mogućnost da se, na osnovu koordinata tačaka profila K_{pi} i rezne geometrije glodala odrede koordinate tačaka sečiva K_{si} u ravni grudne površine odnosno u koordinatnom sistemu koturastog glodala (G58) koji je saglasan sa koordinatnim osama obradnog centra X_M, Y_M, Z_M
- Mogućnost da se između diskretizovanih tačaka sečiva brusna ploča (tačka C_T) može kretati linearnom prostornom interpolacijom (umesto ose A petoosne brusilice),
- Mogućnost da se ledni ugao α kao i kod petoosne CNC brusilice ostvaruje spuštanjem tocila za $y=R_f \cdot \sin\alpha$, slika 9.



Slika 9 – Tehnologija izrade profilnih koturastih glodala 3+2 osnim brušenjem na obradnom centru. Obezbeđivanje lednog ugla

- Mogućnost da se preko pozicione ose B obradnog centra profil odnosno koturasto glodalo može zakretati za zadati ugao (umesto ose C, petoosne CNC brusilice), slika 10.
- Mogućnost da se uz pomoć podeonog aparata svaki naredni zub glodala dovede u ugaoni položaj za obradu.



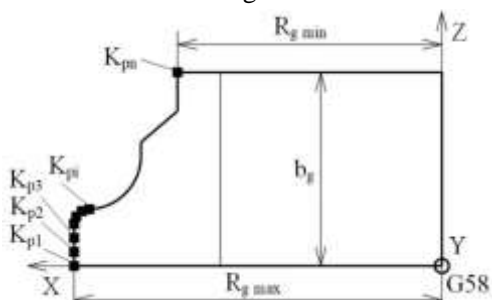
Slika 10 – Tehnologija izrade profilnih koturastih glodala 3+2 osnim brušenjem na obradnom centru

Osnovni koraci, praktični i teorijski pristupi postavljenog koncepta, koji se u ovom radu navode ukratko algoritamski, predstavljaju kao osnovu za njegov celovit prikaz i bolje razumevanje tako i osnove za njegovu razradu i praktičnu implementaciju:

- Polazeći od činjenice da se složeni profili koturastih i vretenastih glodala sastoje od pravolinijskih i kružnih segmenata (primitiva), kao prvi korak obuhvata njihovo kreiranje u osnovnoj

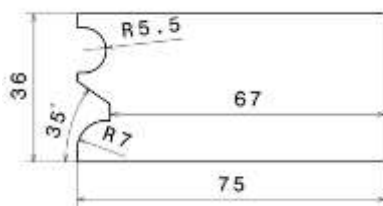
odnosno XZ ravni koordinatnog sistema koturastog glodala (G58), zuba, kao radnog predmeta.

- Za kreirani profil ili u procesu samog kreiranja profila vrši se njegova diskretizacija po Z osi kako bi se odredio broj tačaka profila i njihove koordinate K_{pi} (X_{pi} , Z_{pi}), $i=1,2,\dots,n$. Diskretizacija obuhvata i određivanje čvornih tačaka koje predstavljaju mesta gde se vrši prelaz sa jednog segmenta profila na drugi. Pravac diskretizacije profila ide od $Z=0$ do $Z=b_g$, slika 11.
- Na osnovu: diskretizovanog profila odnosno koordinata tačaka K_{pi} (X_{pi} , Z_{pi}), zadatog grudnog ugla i širine glodala b_g izračunavaju se koordinate tačaka sečiva K_{si} (X_{si} , Y_{si} , Z_{si}) u koordinatnom sistemu koturastog glodala G58. Napominje se da je $Z_{si}=Z_{pi}$ dok se koordinate sečiva izvode postupkom izračunavanja ugla ose A. Koordinate tačaka profila kao i koordinate tačaka sečiva mogu se rotirati oko ose Y za ugao $\pm B$.



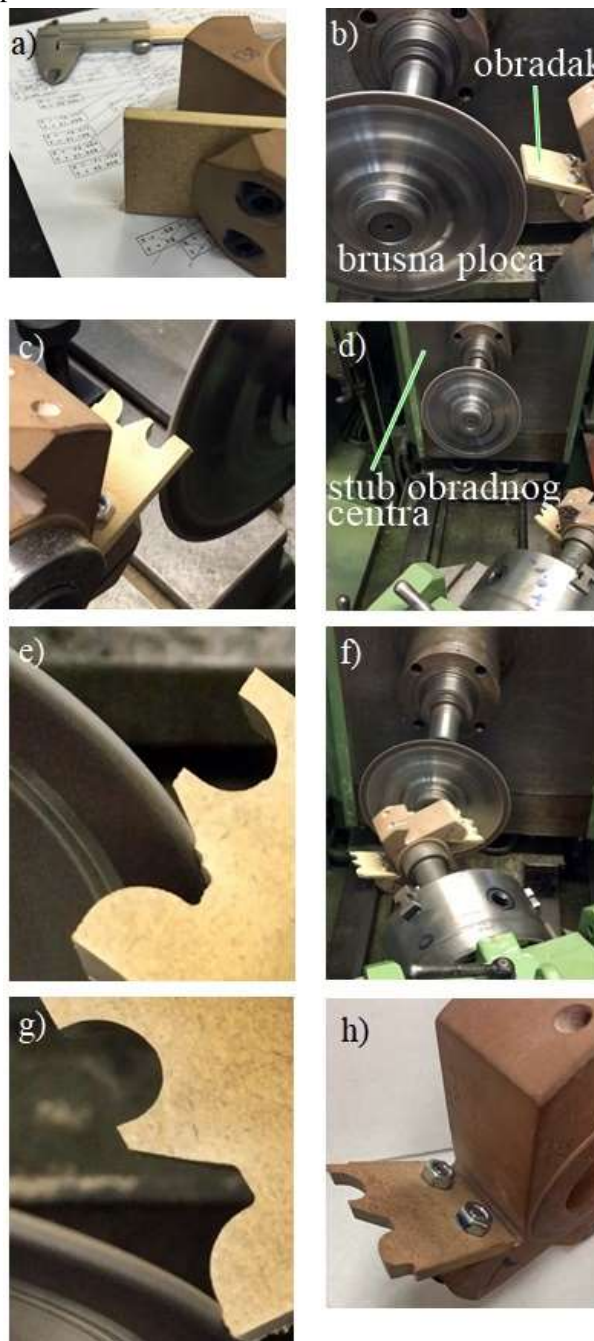
Slika 11 – Diskretizacija profila sečiva koturastog glodala

- Na osnovu izračunatih koordinata tačaka sečiva K_{si} (X_{si} , Y_{si} , Z_{si}) se za svaku od njih određuju koordinate centra zaobljenja vrha tocila CT_i (X_{ci} , Y_{ci} , Z_{ci}). Ovaj korak je od izuzetne važnosti s obzirom da je dalje potrebno na osnovu koordinata tačaka CT_i napisati program u G-kodu po kome tocilo, odnosno njegov centar CT mora da se vodi prostornom linearnom interpolacijom između tih tačaka. S obzirom da se centar tocila CT_i vodi prostornom linearnom interpolacijom uvek je $Y_{ci}=Y_{si}$. Važno je napomenuti da su koordinate X_{si} malo manje od koordinata X_{pi} (pri projekciji složenog sečiva na osnovnu XZ ravan kotura sečiva je gotovo identična sa zadatom konturom u osnovnoj ravni).



Slika 12 – Oblik i karakteristične mere profilnog glodala koji je zadat u osnovnoj ravni

Postavljen koncept tehnologije izrade profilnih glodala 3+2 osnim brušenjem na obradnom centru verifikovan je obradom profilnog koturastog glodala koji je napravljen od siporeksa. Oblik i mere željenog profila sečiva glodala u osnovnoj ravni prikazan je na slici 12 dok je brušenje novopostavljenim konceptom prikazano na slici 13.



Slika 13 – Izrada koturastog glodala pomoću postavljenog novog koncepta 3+2 osnog brušenja na obradnom centru

Polazeći od neprofilisane, potpuno ravne pološice (slika 13.a), nakon izvršene diskretizacije tačaka profila glodala i određivanja tačaka centra tocila napisan

je program za grubu obradu pločice (ubadanjem) bez rotacije radnog stola obradnog centra, (slike 13. b i 13. c). Zbog konfiguracije profila glodala i postojanja podbrušenja zahvat brušenja profila glodala (čišćenje-završna obrada) odvija se u dve faze i to pri rotaciji stola obradnog centra za pozitivan ugao B (slike 13. d i 13. e) kao i pri rotaciji stola obradnog centra za negativan ugao B, slike 13. f i 13. g). Konačan izgled napravljenog – isprofilisanog zuba glodala prikazan je na slici 13. h.

Budućim istraživanjima, opisana tehnologija izrade profilnih glodala će se unaprediti osnaživanjem pozicionih osa po ugledu na naučni rad [11] čime se dobijaju aktivne i upravljane pogonske ose. Takođe, jedan od pravaca budućih istraživanja će biti primena razvijenog koncepta na višeosne mašine alatke koje u osnovi poseduju mehanizam sa paralelnom kinematikom [12] i čije je upravljanje konfigurisano u sistemu otvorene arhitekture [13]. Ovime će se steći nove mogućnosti pa će opisana metoda moći da se koristi i za izradu reznog alata čija je geometrija složenija od geometrije koturastih glodala [9], [14].

5. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada je postavljanje novog koncepta tehnologije izrade profilnih koturastih glodala 3+2 osnim brušenjem na klasičnom obradnom centru. Na osnovu postavljenog novog koncepta 3+2 osnog brušenja izvršena je verifikacija i napravljen je složen profil na koturastom glodalu. Postavljen nov koncept izrade alata predstavlja efikasan metod izrade koji je tehnoekonomski opravdan i omogućava kompetitivnu prednost u odnosu na klasičan metod petoosnog brušenja.

LITERATURA

- [1] Rebac B, *Rezni alati*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [2] SCHNEEBERGER, [citirano 8.5.2022]. <https://www.schneeberger.swiss/en/machines/sirius-ngs>
- [3] SCHNEEBERGER Linear Technology, [citirano 8.5.2022]. <https://www.necnc.com/schneeberger>
- [4] Pjević M, Mladenović G, Puzović R, Tanović Lj, Primena CAD/CAM sistema u projektovanju i izradi profilnih kružnih strugarskih noževa, 39. *Jupiter konferencija*, Zbornik radova, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, str.2.31-2.36., 2014.
- [5] Milutinović M, Metodologija projektovanja prizmatičnih profilnih noževa, 36. *JUPITER konferencija*, Zbornik radova, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, str. 2.51-2.57, 2010.
- [6] Kalajdžić M, *Tehnologija mašinogradnje*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 1998.
- [7] VOLLMER VGRIND 360S - FINE GRINDING WITH UTMOST PRECISION, [citirano 8.5.2022]- <https://www.vollmer-group.com/en/products/solutions-for-rotary-tools/grinding-carbide/vollmer-vgrind-360s-grinding-machine-for-rotary-tools>
- [8] Rabah M, *A Practical and Optimal Approach to CNC Programming for Five-Axis Grinding of the End-Mill Flutes*, Doctoral thesis, Concordia University, Montreal Canada, 2011
- [9] Rababah M, Almagableh A, Aljarrah M. F, Five-axis rake face grinding of end-mills with circular-arc generators, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol.11, pp.93-101. 2017.
- [10] New CAD/CAM Qg1 grinding software, [citirano 8.5.2022] <https://www.ssptech.co.uk/new-cadcam-grinding-software/>
- [11] Limón-Molina, G. M, González-Ángeles A, Nuño-Moreno V, Luna-Sandoval G, Proposes to enable a CNC mill from 3 axes to 5 axes synchronized, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol.15, pp.145-150 2018.
- [12] Vasilić G, Živanović S, Modelling and analysis of 2-axis reconfigurable parallel mechanism MOMA with translatory actuated joints, *TECHNICS special edition, Magazine of the Society of Engineers and Technicians of Serbia*, vol.71: pp. 59-66, 2016.
- [13] Živanović S, Dimić Z, Vasilić G, Kokotović B, Konfigurisanje virtuelne rekonfigurabilne mašine sa paralelnom kinematikom integrisane sa CNC sistemom otvorene arhitekture na bazi EMC2 softvera, *TEHNIKA, Časopis saveza inženjera i tehničara Srbije*, vol.73, pp. 519-526, 2018.
- [14] Chen F, Bin H, A novel CNC grinding method for the rake face of a taper ball-end mill with a CBN spherical grinding wheel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.41, pp. 846. 2009.

SUMMARY

TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING OF SHAPER MILLING CUTTERS BY 3+2 GRINDING PROCES ON HORIZONTAL CNC MILLING CENTER

The paper presents the technology of making brazed shaper milling cutters and with special reference to 5-axis grinding process (making of profile blades) on CNC grinding machine tool. Based on the analysis of the kinematics of the 5-axis grinding process, a new concept of profile milling tool production by a 3+2 axis grinding process on horizontal milling center was established. By Applying new concept, one tooth of profile tool was machined by grinding process. By obtained results, new approach for manufacturing of profile milling tools was verified.

Key Words: *profile milling tool, grinding, carbide plate, 3+2 machining strategy, horizontal milling center*