

PRIMER ISPITIVANJA RADNE TAČNOSTI JEDNE TROOSNE PARALELNE MAŠINE

AN EXAMPLE OF WORKING ACCURACY INSPECTION FOR ONE THREE-AXIS PARALLEL KINEMATICS MACHINE

Mr Saša Živanović, dipl. Inž.

Mašinski fakultet Beograd, 11120 Beograd, Kraljice Marije 16



REZIME

U radu je predstavljen primer ispitivanja radne tačnosti jedne mašine iz klase mašina sa paralelnom kinematikom. Na bazi postojećih preporuka data je analiza konstruisanih test radnih predmeta, tehnologija njihove obrade, kao i vrste provera koje se mogu osrtvariti. Eksperiment je realizovan na troosnoj paralelnoj mašini pn101.

Ključne reči: ispitivanje, radna tačnost, troosna paralelna mašina

ABSTRACT

This paper gives an example of work accuracy inspection for one machine of the parallel kinematics class. Based on existing recommendations, the analysis of designed test workpieces, the technology for their machining as well as the set of inspection methodologies that can be preformed, is given. Experiment is realized on three-axis parallel kinematics machine pn101.

Key words: testing, work accuracy, parallel kinematics machine

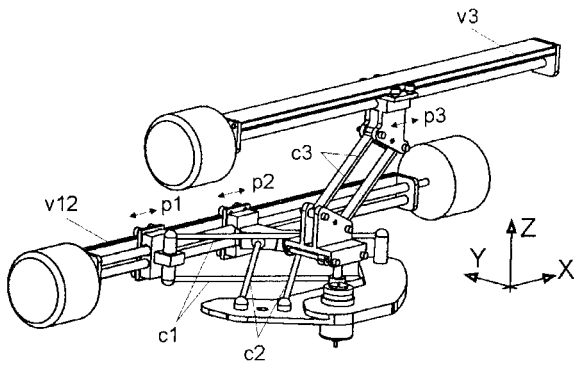
1. UVOD

Prilikom realizacije projekta Troosne paralelne mašine, ukazala se potreba za ispitivanjem geometrijske i radne tačnosti jedne mašine sa paralelnom kinematikom. Pošto je realizovan industrijski prototip mašine sa paralelnom kinematikom LOLA pn101_4 V1, započeta su i ispitivanja geometrije i upravljanja ove mašine. Radi se o novim mašinama, za koje ne postoje razrađena metodologija i postupci pri ispitivanju, kao što je to reč sa mašinama tradicionalne serijske konfiguracije. Zbog toga je za potrebe nove mašine, razmatrana upotreba postojećih ali i konstruisanje novih etalona za ispitivanje, kao dopuna ili zamena za postojeće. Takođe su konstruisani i test radni predmeti za ispitivanje radne tačnosti po uzoru na postojeće preporuke. U ovom radu je pokazan jedan konkretan primer ispitivanja radne tačnosti troosne paralelne mašine pn101, na primeru dva test radna predmeta.

2. PROTOTIP ZA ISPITIVANJE

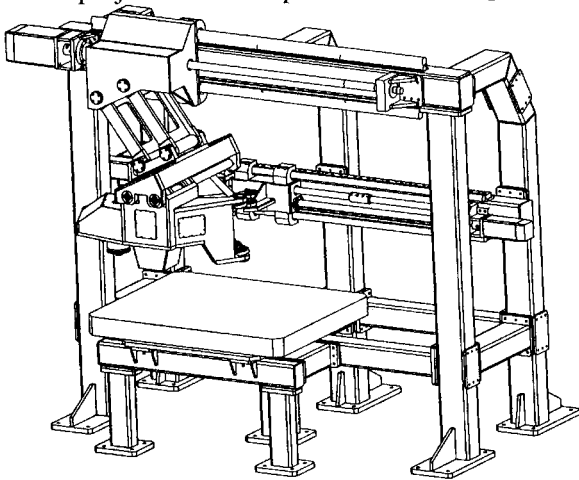
Prikaz fizičkog modela verzije mehanizma sa vertikalnim položajem glavnog vretena pokazan je na slici 1. Zbog specifične topologije meha-

nizma fizički model je poslužio za inicijalnu proveru funkcionisanja odnosno stabilnosti mehanizma. Kao što se može videti sa slike 1. paralelni mehanizam se sastoji od pokretne platforme, tri zglobna paralelograma c1, c2 i c3 i tri klizača p1, p2 i p3. Dve paralelne vođice v12 i v3, po kojima se kreću tri klizača, nalaze se na nepokretnoj osnovi noseće strukture mašine. Dva ukrštena zglobna paralelograma c1 i c2, sa sfernim i/ili univerzalnim odnosno kardanskim zglobovima, su jednim svojim krajem vezani za pokretnu platformu dok su drugim svojim krajem vezani za nezavisne klizače p1 i p2, koji sa jednom zajedničkom vođicom v12 na bazi čine dva osnažena i upravljana translatorna zgloba. Treći zglobni paralelogram c3 je jednim svojim krajem, preko pasivnih translatorno-obrtnih zglobova sa 2 stepena slobode, vezan za pokretnu platformu, dok je drugim svojim krajem obrtnim zglobovima vezan za klizač p3 koji sa vođicom v3 na bazi čini treći osnaženi i upravljani translatorni zglob. Pokretanjem klizača p1, p2 i p3 se obezbeđuju 3 stepena slobode pokretne platforme odnosno alata tako da platforma pri kretanju u prostoru ostaje paralelna sama sebi, odnosno zadržava konstantnu orijentaciju u prostoru.



Slika 1. Model paralelnog mehanizma troosne paralelne mašine pn101

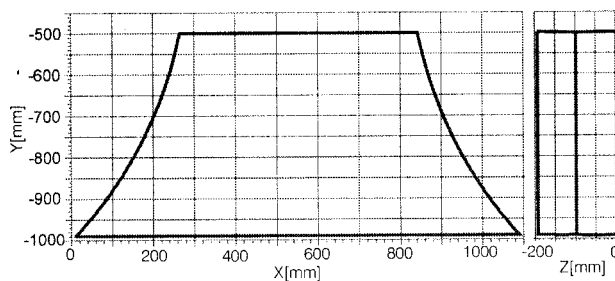
Ispitivanje radne tačnosti se izvodi na prvom industrijskom prototipu (slika 2), mašine sa paralelnom kinematikom kod nas, nastale kao rezultat projekta Troosne paralelne mašine [1,2,4,8].



Slika 2. Prototip mašine sa paralelnom kinematikom LOLA pn101_4 V1. [4]

Neke osnovne karakteristike mašine su:

- radni prostor (slika 3) dužine 1100/600 mm, u pravcu X, širine 500 mm, u pravcu Y i debljine 200 mm, u pravcu Z.



Slika 3. Radni prostor mašine sa paralelnom kinematikom LOLA [2]

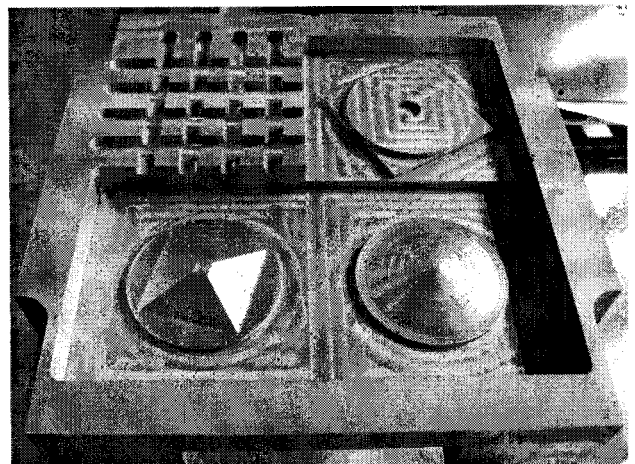
- Zaobljenja radnog prostora koja postoje na krajevima X_{min} i X_{max} favorizuju da ovakve

mašine imaju što dužu osu X zato što se tada umanjuje uticaj smanjivanja radnog prostora zbog tih zaobljenja.

- Odnos hodova alata u koordinatnim pravcima je $X:Y:Z \cong 5:2:1$. Takav odnos je tipičan za vertikalne glodalice sa pokretnim mostom, a time sa manjim hodom po osi Z.
- Konturna brzina alata u linearnoj interpolaciji u probnom radu mašine bila je i 10 m/min.
- Nosaća struktura je okvirna, a napravljena je zavarivanjem cevi četvrtastog preseka. Sto je sa T žljebovima.
- Kalibracija mašine je vršena pomoću etalona i proveravana merenjem obrađenih test radnih predmeta [4].

3. TEST RADNI PREDMETI

Ispitivanje radne tačnosti ostvaruje se obradom test radnih predmeta na mašini. Na taj način se indirektno na test komad preslikava geometrija mašine, ali i program upravljanja: Merenjem test radnog predmeta na mernoj mašini, dolazimo do slike pokazatelja kvaliteta mašine. Ova ispitivanja se vrše prema proceduri ispitivanja radne tačnosti numerički upravljanih mašina alatki, pri čemu se vrši obrada test radnog predmeta, koji je dogovorno ustanovljen. Detaljna analiza mogućih različitih test radnih predmeta je data u [3].



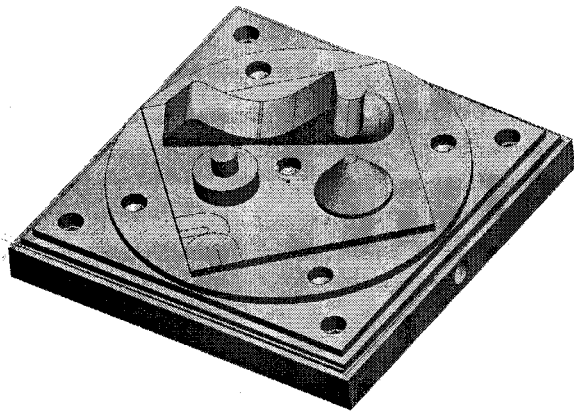
Slika 4. Primer obrađenog kombinovanog test radnog predmeta [2]

Na slici 4. je pokazan kombinovani test radni predmet. On je obrađen u sklopu ispitivanja troosne paralelne mašine pn101 [1,2,3,4]. Na njemu se nalaze ukomponovane celine različitih test radnih predmeta. Mogu se primetiti ISO test radni predmet i radni predmet sa gridom žlebova, koji su uobičajeni

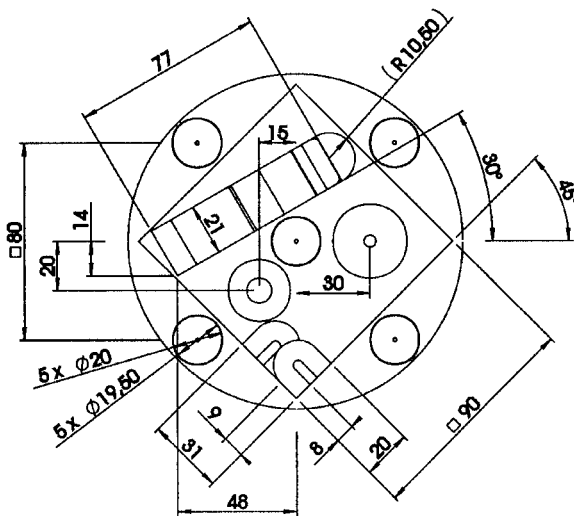
za ispitivanje tradicionalnih numerički upravljanih glodalica, sa serijskom kinematikom. Pored njih su još dva dela, četvorostrana piramida čija je osnova upisana u krug i jedna kupa. Ovakav test radni predmet je pogodan i za ispitivanja mašina sa paralelnom kinematikom.

Uobičajeno je da test radni predmeti sadrže geometriju koja se ostvaruje karakterističnim zahvatima obrade na određenim mašinama. Kod standardnih ISO predmeta su to rupe, prave, kvadrati i krugovi, dok su kod nestandardnih testova pored pomenutih još i kugle, kupe, piramide, cilindrične stepenice, različite reljefne površine i sl.

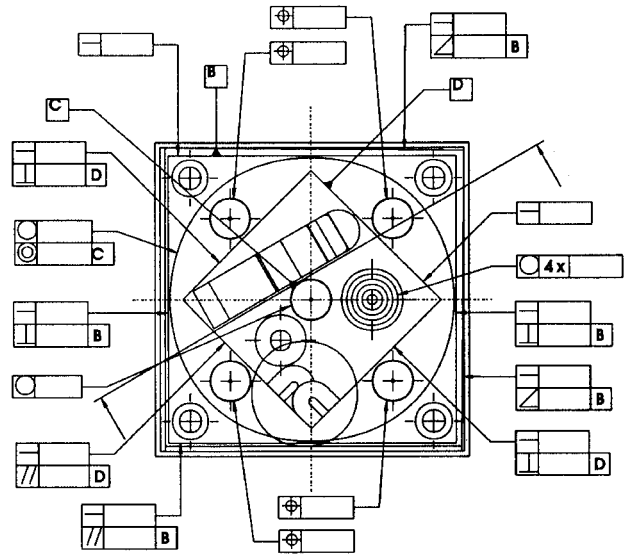
Na slikama 5a, 5b i 5c su pokazani 3D solid model i crteži osnovnih elemenata geometrije i provera koje se vrše na test radnom predmetu za brzohodne mašine alatke (NCG test radni predmet [5]).



a) Solid model NCG radnog predmeta



b) Osnovne mere test radnog predmeta



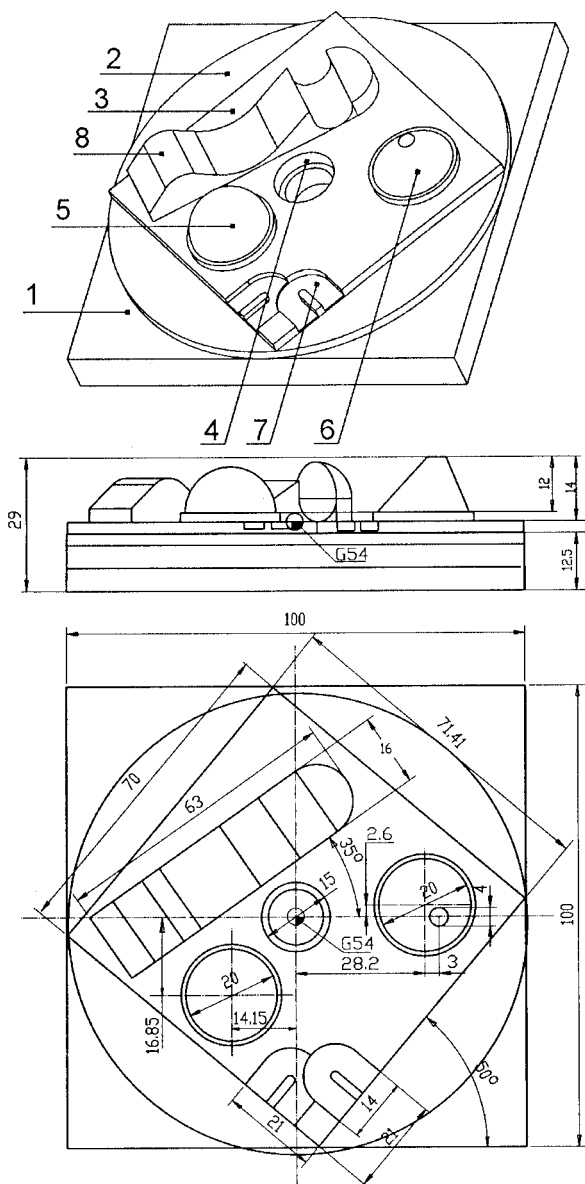
c) Vrste provera na test radnom predmetu

Slika 5. NCG test radni predmet [5]

Prema NCG preporukama predložene su dimenzije za veliki (310 x 310 x 95 mm) i mali test radni (155 x 155 x 64 mm) predmet. Materijal za obradu je AlCuMg1 [5].

Test delove je moguće i samostalno konstruisati u zavisnosti od željenih provera, uz konsultaciju sa postojećim preporukama. U tom pogledu je za potrebe ispitivanja radne tačnosti troosne paralelne mašine pn101, konstruisano više različitih test radnih predmeta. Neki od njih su već obrađeni, a ima i test delova koji čekaju obradu. Svaki od ovih testova u sebi sadrži neku karakterističnu proveru, kojom se dobija potpunija informacija o pokazateljima kvaliteta mašine i pokazuju mogućnosti same mašine.

Test radni predmet sa slike 6. je konstruisan po uzoru na NCG test radni predmet. Sadrži ukomponovane uobičajene test oblike velikog kruga 2 i u njega upisanog i zarotiranog kvadrata ili pravougaonika 3. Na gornjoj četvorougaonoj površini razmešteni su oblici: polusfere 5, kose kupe 6, reljefne površine 8 (koja se sastoji od talasaste površine sa promenama ugla nagiba, oštrim žlebom i četvrtinom sfere) i dva žleba u obliku slova "nc" 7.



Slika 6. Osnovni elementi test radnog predmeta

Na ovom test radnom predmetu postoje elementi za ravansko 2D i prostorno 3D testiranje. Ravanski elementi su: veliki krug 1, mali krug 4, kvadrat ili pravougaonik 3 i dva žleba u obliku slova nc 7. Prostorni elementi su sfera 5, kosa kupa 6 i reljefna površina 8.

U pogledu ispitivanja radne tačnosti pokazanim test radnim predmetom moguće je proveriti:

- tačnost kružne interpolacije na upuštenom delu 4, prečnika 15 mm, merenjem kružnosti, a u cilju testiranja sistema upravljanja (prečnik obrade mali, pa je uticaj geometrije mašine zanemarljiv);
- tačnost kružne interpolacije na velikom ispupčenom krugu 2, prečnika 100 mm, merenjem kružnosti, a u cilju testiranja geometrije mašine;
- tačnosti kružne interpolacije podnožja za sferu i

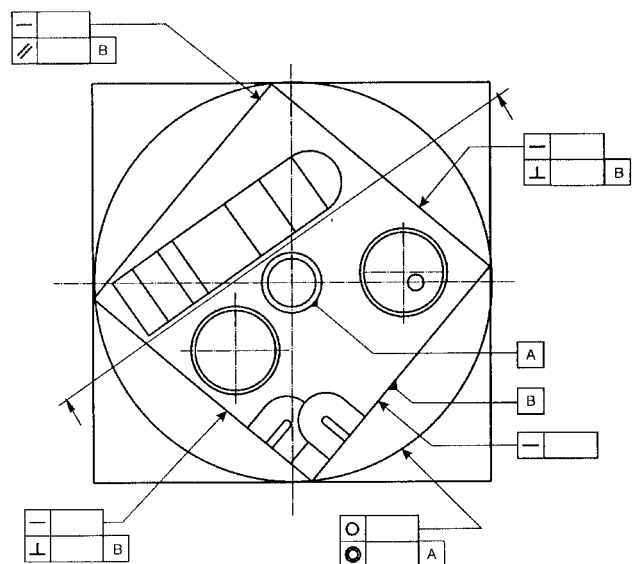
kosu kupu;

- tačnost linearne interpolacije na stranicama pravougaonika 70 x 71.41 mm, merenjem pravosti, upravnosti i paralelnosti njegovih stranica;

- provera linearne i kružne interpolacije na delovima žlebova u obliku slova "nc";

- provera pozicioniranja po Z osi merenjem visina cilindra 2 i paralelopipeda 3 i merenjem dubina dva žleba u obliku slova nc 7;

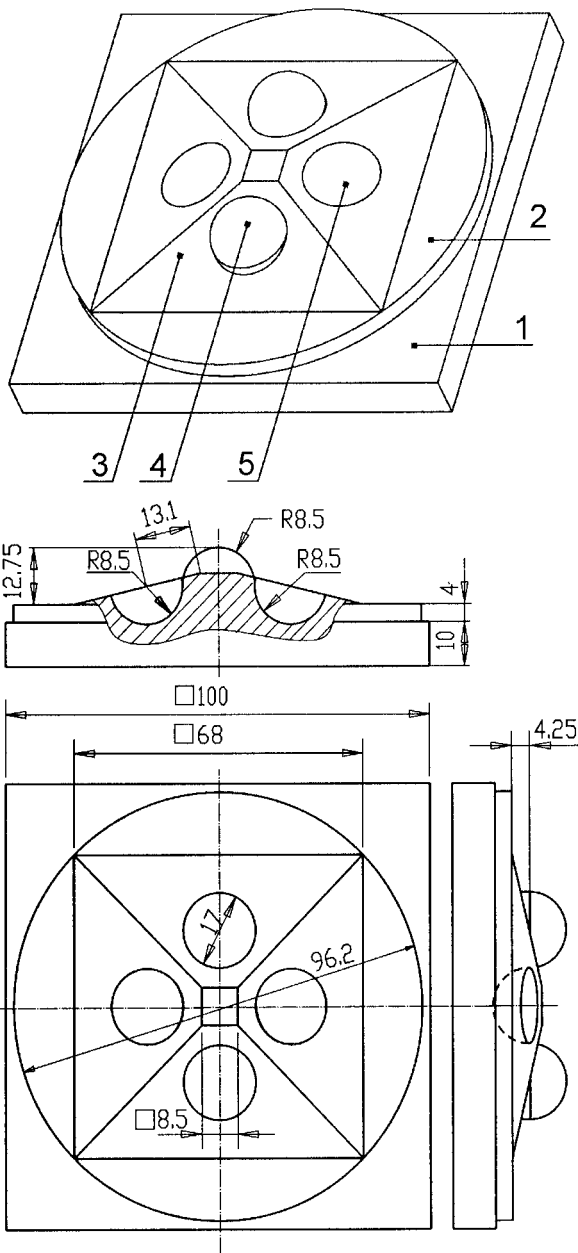
- provera ponovljivosti pozicioniranja po Z osi merenjem položaja obrađenih kružnih kriški između cilindra 2 i paralelopipeda 3, kao i merenjem kriški u podnožju cilindra. Sve ove ravne površine se obrađuju sa podizanjem i spuštanjem alata na istu Z koordinatu pri svakom prolazu, što je od značaja pri proveru ponovljivosti.



Slika 7. Neke od provera na test radnom predmetu

Na ovom test radnom predmetu nije predviđena provera pozicioniranja po X i Y osi. Predlaže se obrada standardnog ISO test radnog predmeta pre obrade ovog ili dodavanje četiri ili više rupa kao na preporučenom NCG testu pokazanom na slici 5. Gabariti test radnog predmeta su izabrani prema preporuci da veličina velikog kruga bude veća od trećine hoda najmanje ose na mašini, da bi se mogao osetiti i uticaj geometrije mašine. U ovom slučaju je to Z osa koja ima hod od 200 mm. Pošto je $200/3 \cong 66.67$ mm, to je izabrana dimenzija od 100x100 u koji je upisan krug zadovoljavajuća.

Razmatran je još jedan radni predmet pokazan na slici 8 i on sadrži oblike za ispitivanje višeosne obrade, kao što je petoosna.

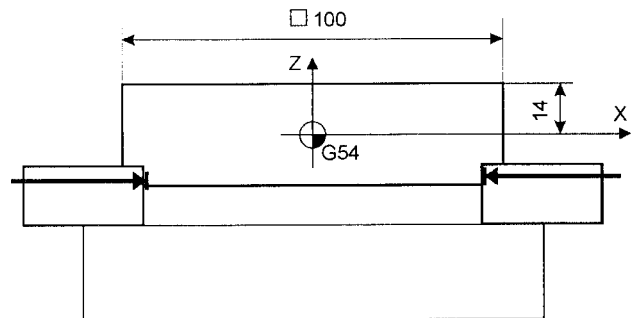


Slika 8. Test radni predmet za brzohodne i višeosne obrade

Sadrži ukomponovani uobičajeni veliki krug 2 u koji je upisana osnova pravilne četverostrane zarubljene piramide 3. Na četiri strane ove piramide nalaze se dve ispupčene 4 i dve udubljene polusfere 5. Položaj polusfera je modifikovan u odnosu na uzor [7] tako da ih je moguće obraditi i troosnom obradom na raspoloživoj troosnoj paralelnoj mašini pn101, čije je ispitivanje u toku. Takođe, se planira obrada ovog istog test radnog predmeta i na petoosnoj mašini.

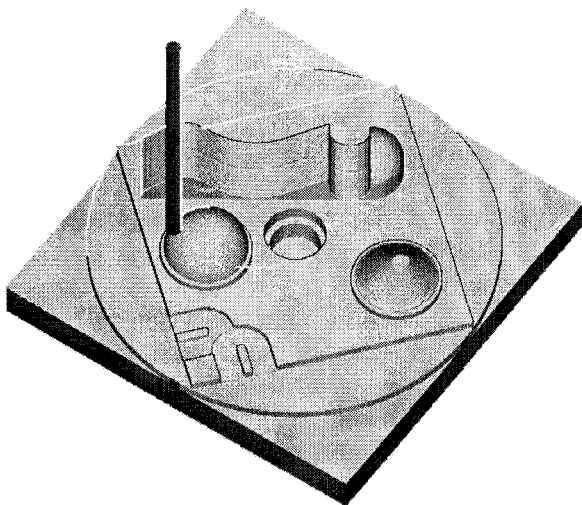
4. OBRADA TEST RADNOG PREDMETA

U nastavku će biti opisana procedura obrade test radnog predmeta sa slike 6. Obradeno je 2 primerka test predmeta. Na osnovu ostvarene obrade potvrđen je matematički model izračunavanja primenom inverznog kinematičkog problema, za programiranje ovakve mašine. Obradjeni geometrijski oblici reljefnih površina su bez uočljivih grešaka. Obrada je ostvarena u pripremkama dimenzija 100x100x30 mm u aluminijumu. Od alata su korišćena glodala: vretenasto $\varnothing 4$ (za završnu obradu ravnih površina), vretenasto $\varnothing 8$ (za predobrade) i loptasto $\varnothing 6$ (za završnu obradu prostornih oblika).



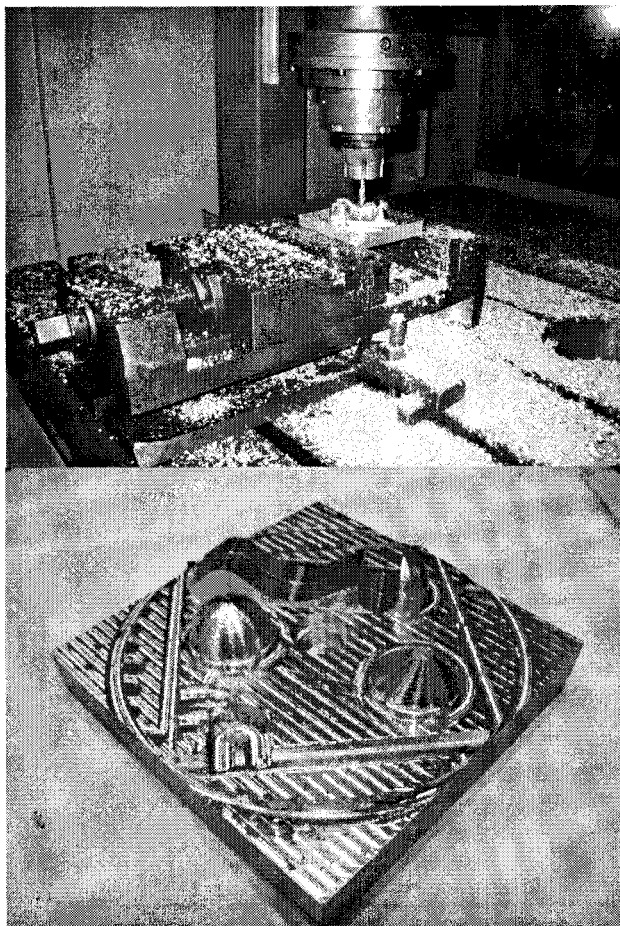
Slika 9. Baziranje pripremkama za obradu test radnog predmeta

Standardni test predmeti za tradicionalne serijske mašine, koji nemaju prostorne oblike za testiranje, pisanje NC programa je jednostavno. Ovde već to nije tako, pa se programi za obradu prostornih oblika dobijaju primenom CAD/CAM sistema. Zato je deo sa slike 6. modeliran u Pro/Engineer-u. Na osnovu CAD modela generisani su crteži i NC programi za obradu dela. Zbog složenosti obrade jednog kompleksnog dela izbor alata kao i redosled obrade su vrlo bitni prilikom obrade ovog test radnog predmeta. Ovo je naročito važno zbog toga što komercijalni paketi koji sadrže CAM, nude različite strategije obrade. Radi verifikacije programa, postoje opcije za simulacije uklanjanja materijala, slika 10., koje su korišćene pre postprocesiranja i prebacivanja programa u upravljačku jedinicu mašine pn101. Na osnovu ovih simulacija se može izabrati najbolja strategija obrade, koja obezbeđuje ispravnu obradu, bez usecanja ili nekih drugih grešaka.



Slika 10. Simulacija obrade test radnog predmeta

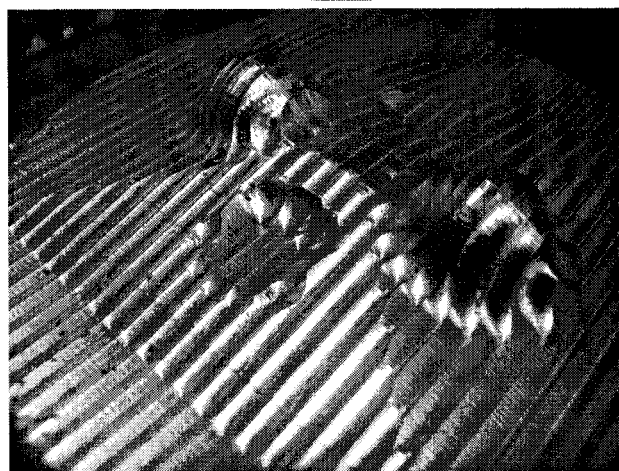
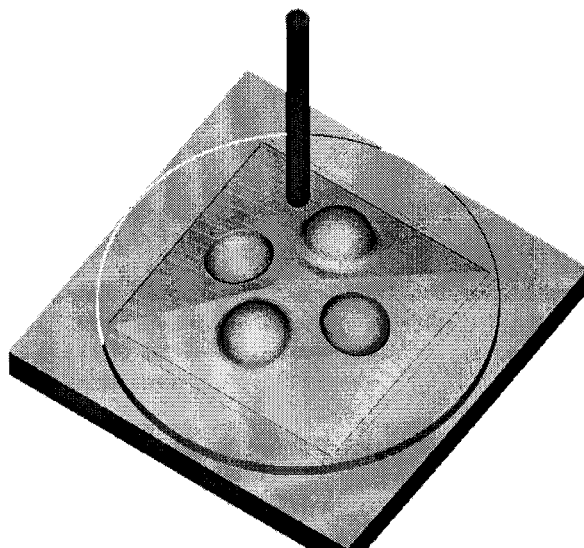
Zbog nemogućnosti merenja na mernoj mašini, ostvarena su merenja karakterističnih dimenzija pomoću digitalnog nonijusa. Dobijena je zadovoljavajuća tačnost ostvarenih dimenzija. U planu je da se za detaljnije informacije ostvari merenje na numerički upravljanoj mernoj mašini čim se za to steknu uslovi.



Slika 11. Obrada i obrađeni test radni predmet za mašinu pn101

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljena procedura ispitivanja radne tačnosti jedne troosne paralelne mašine, čije je ispitivanje u toku. Pošto je reč o konfigurisanom industrijskom prototipu, vrlo je važno verifikovati geometriju i upravljnje mašinom. To je utoliko važnije, pošto ovaj prototip po završetku ispitivanja, postaje polazna baza za dalja istraživanja u okviru novog projekta, pod naslovom Petoosne paralelne mašine. Kada ovaj projekat bude u završnoj fazi, takođe će biti potrebna verifikacija geometrije i upravljanja. Razmatrani test radni predmeti će biti obrađeni i novom mašinom. U radu je pokazan mogući test radni predmet i za ovakve višeosne mašine alatke, slika 8. Ovaj test radni predmet je prilagođen i za obradu na troosnoj mašini, slika 12. Ipak ovaj test radni predmet je izvorno predviđen za brzohodne i višeosne (petoosne) mašine alatke. Ova problematika se razmatra u okviru projekta Petoosne paralelne mašine, koji je u toku.



Slika 12. Primer simulacije i predobrade test radnog predmeta za brzohodne i višeosne obrade

LITERATURA

- [1] Milutinović, D., Glavonjić, M., Kvirgić, M., Živanović, S., Novi paralelni mehanizam za glodalice sa dugačkom X osom, 31. JUPITER konferencija, 27. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, ISBN 86-7083-508-8, str.3.6-3.11, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, april 2005.
- [2] D. Milutinovic, M. Glavonjic, V. Kvirgic, S. Zivanovic, A New 3-DOF Spatial Parallel Mechanism for Milling Machines with Long X Travel, Annals of the CIRP Vol. 54/1/2005, pp 345-348
- [3] Živanović, S., Ispitivanje i verifikacija geometrije i upravljanja mašina alatki sa paralelnom kinematikom, Naučno-stručni časopis Tehnička Dijagnostika, ISSN 1451-1975, str. 55-60, Godina IV, Broj 1, 2005.
- [4] Glavonjić M., Milutinović D., Živanović S., Kvirgić V., Višnjić Z., O jednoj troosnoj paralelnoj mašini, 30. JUPITER konferencija, 26. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str. 3.49-3.54, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [5] NCG Empfehlung, NC-Gesellschaft Anwendung neuer Technologien, NCG 2004/Tell 1, Blatt1, www.ncg.de
- [6] Powell N.P., Whittingham B.D., Gindy N.N.Z., Parallel Link Mechanism Machine Tools: Acceptance Testing and Performance Analysis, Parallel Kinematic Machines, Springer-Verlag London Limited 1999, pp. 327-344
- [7] N.N., On - Machine Acceptance, OMA, Sandia National Laboratories, new Mexico, 1999.
- [8] Glavonjić, M., Milutinović, D., Živanović, S., Elaborat: MIS.3.02.0101.B Troosne paralelne mašine, Završni izveštaj, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.



KIRKA Corporation Beograd - KIRKA SURI d.o.o. 11210 BEOGRAD - KRNJACA, VIII Braće Marića 15
Tel/Fax: +381 11 (27-17-724, 27-11-440, 27-11-225; Prodaja / Sale: +381 11 (27-11-503;
www.kirka.co.yu; e-mail: kirkazinfosky.net

PROIZVODNI PROGRAM

- Kompletna izgradnja energetskih postrojenja - sistem inženjeringa
- Kotlovi za sagorevanje oklaske, balirane slame i ostalog bio goriva
- Toplovodni, vrelovodni, parni kotlovi na drvo, ugajji biomasa
- Kotlovska postrojenja za loženje sa drvenim otpacima
- Elektrogenator pare i električni vrelovodni kotlovi
- Kotlovi sa termouljem kao prenosnikom toplote
- Kotlovi za sagorevanje ljuške od suncokreta
- Kotlovi - peći za spaljivanje ljuške od kafe
- Visokopritisni parni i vrelovodni kotlovi
- Vertikalni kotlovi na čvrsto gorivo
- Kotlovi za brzu proizvodnju pare
- Paketna "Vapor-Sun" kotlarnica
- Kontejner kotlarnice
- Izmenjivači toplote
- Strmoevni kotlovi
- Toplovodni kotlovi
- Kotlovi na briketu
- Cevni blok kotlova
- Paketni kotlovi