

Toplotno-statički model sklopa glavnog vretena pri aksijalnom opterećenju

Vladimir Blanuša, Branko Savić
Visoka tehnička škola strukovnih studija
Novi Sad, Srbija
blanusa@vtsns.edu.rs, savic@vtsns.edu.rs

Milan Zeljković
Department za proizvodno mašinstvo
Fakultet tehničkih nauka
Novi Sad, Srbija
milanz@uns.ac.rs

Sadržaj— U radu je razmatran uticaj toplotnog opterećenja na statičko ponašanje sklopa glavnog vretena. Sklop glavnog vretena u prednjem osloncu uležišten je cilindrično valjkastim dvoredim ležajem i kugličnim ležajem sa kosim dodirom. Primenom metode konačnih elemenata određene su vrednosti pomeranja u karakterističnim tačkama vrha vretena pod dejstvom samo aksijalnog statičkog opterećenja i u slučaju istovremenog toplotnog i statičkog opterećenja (toplotno-statički model). Krutost vrha vretena kod toplotno-statičkog modela je određena za različite brojeve obrtaja sklopa glavnog vretena.

Ključne riječi: Metod konačnih elemenata, sklop glavnog vretena, krutost vrha vretena, toplotno-elastično ponašanje, statičko ponašanje

I. UVOD

Jedan od ciljeva u toku procesa projektovanja sklopova glavnih vretena je da se izvrši predikcija njihovog ponašanja u eksploataciji pod dejstvom opterećenja.

Tako je i toplotno-elastično ponašanje sklopa glavnog vretena potrebno predvideti još u fazi projektovanja mašine alatke [1]. Da bi se dobili što pouzdaniji rezultati metodom konačnih elemenata potrebno je definisati odgovarajući model i uzeti u obzir što veći broj parametara koji utiču na njegovo ponašanje.

Porast temperature i toplotne deformacije glavnog vretena utiču na tačnost obratka i radnu sposobnost ležišta. Zato je dozvoljeni porast temperature ležišta glavnog vretena uslovljen tačnošću mašine alatke [1]. Autor [1] analizira uležištenje sklopa glavnog vretena sa konvencionalnim i hibridnim kugličnim ležajima sa kosim dodirom i konstatuje da vremenski period u kom se dostiže stacionarno temperaturno stanje zavisi od broja obrtaja, te zaključuje da se pri višim brojevima obrtaja brže dostiže stacionarno temperaturno stanje. Takođe zaključuje da su pri istim uslovima konvencionalni ležaji više toplotno opterećeni od hibridnih ležaja sa kosim dodirom ($\alpha=15^\circ$). Konstatuje i da

raspored ležaja u prednjem osloncu bilo da je „O“ ili „X“ nema uticaja na porast temperature.

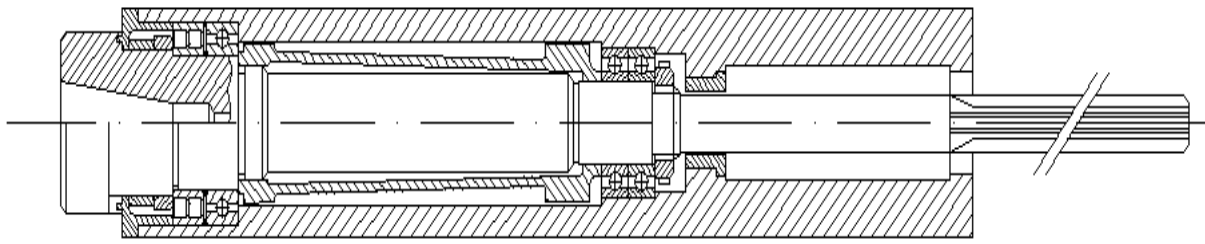
Vremenska i prostorna promena toplotnih, odnosno temperaturnih stanja u mašini alatki uslovljava toplotne deformacije elemenata, što u krajnjoj meri dovodi do promene prvobitno podešenog međusobnog položaja alata i obratka i pojave greške (netačnosti mera i oblika) pri obradi. To znači, ako se tačnost obrade definiše veličinom odstupanja odnosno tačnošću relativnog pomeranja alata u odnosu na obradak, da toplotne deformacije mašine alatke izazivaju odstupanja (greške) ove trajektorije u odnosu na definisanu trajektoriju. Isto tako ove deformacije izazivaju i greške pozicioniranja elemenata kod numerički upravljanih mašina alatki [2].

Pored toplotnog opterećenja značajan uticaj na ponašanje sklopa glavnog vretena u eksploataciji ima statičko opterećenje, i zato je potrebno analizirati i uticaj statičkog opterećenja [3]. U radu autor analizira statičko ponašanje sklopa glavnog vretena uležištenog kugličnim ležajima sa kosim dodirom pri različitom rasporedu ("X", "O", "X" na rastojanju, "O" na rastojanju i "tandem" rasporedu).

Na osnovu analize dosadašnjih istraživanja može se konstatovati da se mali broj autora bavio istovremenim uticajem i toplotnog i statičkog opterećenja, a posebno u slučaju uležištenja sklopa glavnog vretena cilindrično valjkastim i kugličnim ležajem sa kosim dodirom u prednjem osloncu, što je predmet istraživanja u ovom radu.

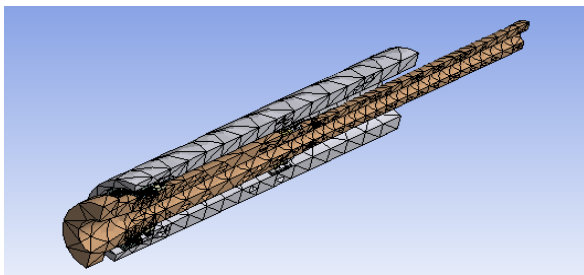
II. MODELOVANJE TOPLOTNO - STATIČKOG PONAŠANJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

Primenom metode konačnih elemenata izvršena je analiza toplotnog i statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena uležištenog cilindrično valjkastim dvoredim ležajem (SKF 3011 NN TN/SP) i kugličnim ležajem sa kosim dodirom (SKF 7011 CDGA P4) u prednjem osloncu. Cilj analize je određivanje deformacija karakterističnih tačaka vrha vretena. Konstrukciono rešenje analiziranog sklopa glavnog vretena prikazano je na Sl. 1.



Slika 1. Sklop glavnog vretena sa cilindrično valjkastim dvoredim i kugličnim ležajem sa kosim dohiru u prednjem osloncu

Nakon definisanja zapreminskog modela sklopa glavnog vretena, te transfera ovog modela u sistem opšte namene za proračun metodom konačnih elemenata generisana je mreža od 32610 konačnih elemenata, 100474 čvorova i 212 kontaktnih parova. Pri diskretizaciji je korišćen 3D konačni element SOLID 87 (linearni tetraedar), dok su za definisanje kontaktnih parova korišćeni konačni elementi TARGET 170 za definisanje površine kontakta i CONTA 174 za uspostavljanje kontakta između kotrljajnih tela i staza kotrljanja kao i kontakta između prstenova i vretena odnosno prstenova i pinole. Na Sl. 2 je prikazan diskretizovan model sklopa glavnog vretena.



Slika 2. Diskretizovan model sklopa glavnog vretena 3D konačnim elementima

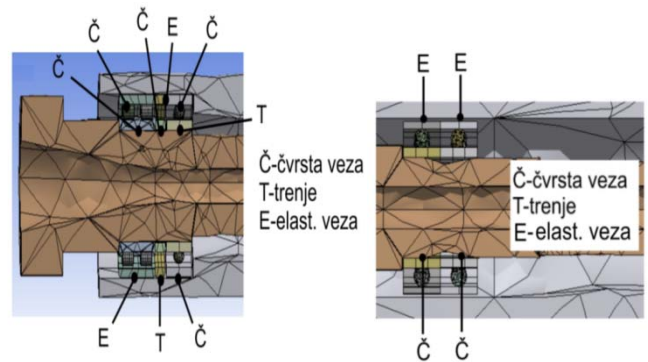
Aksijalna i radijalna krutost ležaja (tabela I) zadata je definisanjem krutosti opruga (broj opruga odgovara broju kotrljajnih tela u pojedinim ležajima), uz uslov da ostali kontaktni parovi budu definisani na adekvatan način.

TABELA I. AKSIJALNA I RADIJALNA KRUTOST OSLOKACA [4]

	Prednje uležištenje	Zadnje uležištenje
Aksijalna krutost [N/ μm]	108	48
Radijalna krutost [N/ μm]	2600 ¹	280

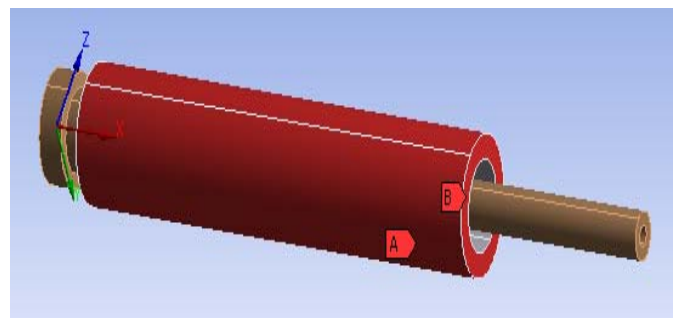
¹ Radijalna krutost u prednjem uležištenju je posledica dejstva čisto valjkastog ležaja.

Kontaktne parove koji su korišćeni za kontakt između elemenata u prednjem i zadnjem uležištenju prikazani su na Sl. 3.



Slika 3. Kontaktne parove u prednjem i zadnjem osloncu

Pored prethodnog potrebno je definisati i granične uslove. Sl. 4 pokazuje definisane granične uslove na sklopu glavnog vretena. Površina „A“ ograničena je u pravcima Z i Y ($U_z=0$ i $U_y=0$), a površina „B“ ima ograničenje u pravcu „X“ ose ($U_x=0$). Ovako definisanje ograničenja je posledica načina ugradnje navedenog sklopa glavnog vretena u noseću strukturu mašine alatke.

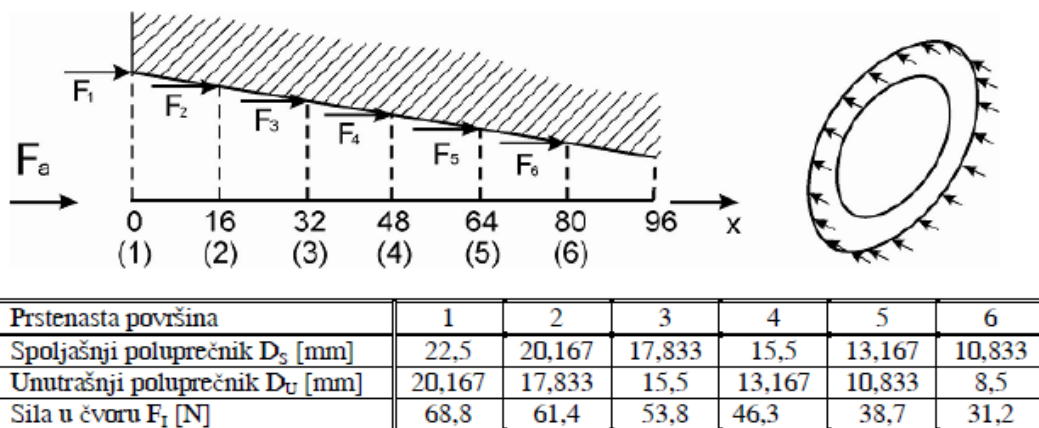


Slika 4. Granični uslovi

U okviru predprocesora sistema za proračun metodom konačnih elemenata potrebno je definisati i odgovarajuće opterećenje. Temperature na spoljašnjim prstenovima valjkastog i kugličnog ležaja su eksperimentalno određene za stacionarno temperaturno stanje za sledeće brojeve obrtaja:

$n_1=2800$ [o/min], $n_2=3550$, $n_3=5600$, $n_4=6300$. Izvori toplote u razmatranom sklopu su samo ležaji, dok su unutrašnji mehanizmi prostiranja toplote: konvekcija usled rotacije ležaja, konvekcija usled rotacije vretena, provođenje između spoljašnjeg prstena i kućišta, odnosno provođenje između unutrašnjeg prstena i glavnog vretena. Da bi se izvršila računarska analiza definisane su vrednosti koeficijenta konvekcije i provođenja toplote [5].

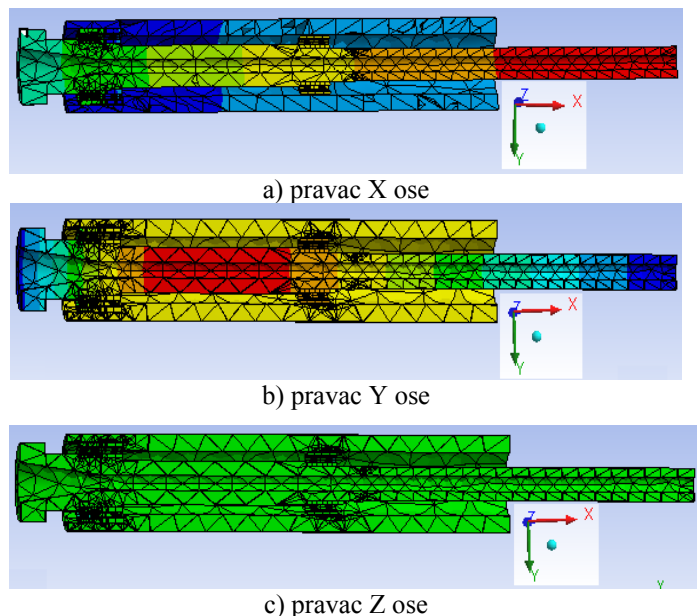
Zadavanje aksijalnog opterećenja je izvršeno definisanjem odgovarajućih komponenta sila u čvorovima mreže konačnih elemenata. Opterećenje na unutrašnjoj konusnoj površini deluje u 6 preseka, a na svakom preseku deluje 20 komponenta sile [3]. Na Sl. 5 pokazane su dimenzije preseka i vrednosti komponenti sila koje deluju na unutrašnju konusnu površinu u svakom preseku.



Slika 5. Izgled preseka i komponenti sila koje deluju po preseku [3]

Nakon postprocesiranja dobijaju se rezultati toplotno-statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena (pri aksijalnom opterećenju).

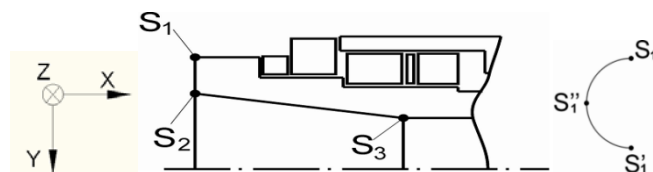
Na Sl. 6 a., 6 b. i 6 c. prikazani su rezultati u grafičkom obliku računarskog modelovanja toplotno-statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena.



Slika 6. Rezultati u grafičkom obliku računarskog modelovanja toplotno-statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena

III. REZULTATI

Primenom sistema opšte namene za proračun metodom konačnih elemenata određena su pomeranja u karakterističnim tačkama (Sl. 7).



Slika 7. Karakteristične tačke vrha vretena

Na osnovu poznatih pomeraja u pojedinim tačkama (kao primarno rešenje procesora sistema) izračunata je krutost vrha vretena pri aksijalnom opterećenju ($c_a = F_a/l$) i prikazana je u tabeli II. Razlike krutosti u tačkama S_1 , S_1' i S_1'' , odnosno S_2 , S_2' i S_2'' su relativno male i posledica su greške koja se javlja pri selektovanju čvorova u programskom sistemu, a koji predstavljaju tačke u ravnima simetrije.

TABELA II. KRUTOST VRHA VRETENA PRI AKSIJALNOM OPTEREĆENJU [6]

Krutost vrha vretena	Karakteristične tačke		
	S_1	S_2	S_3
u pravcu X ose [N/ μ m]	94,2	94,2	95,1
	S_1'	S_2'	S_3'
u pravcu X ose [N/ μ m]	93,9	93,9	95,2
	S_1''	S_2''	S_3''
u pravcu X ose [N/ μ m]	94,5	94,5	94,9

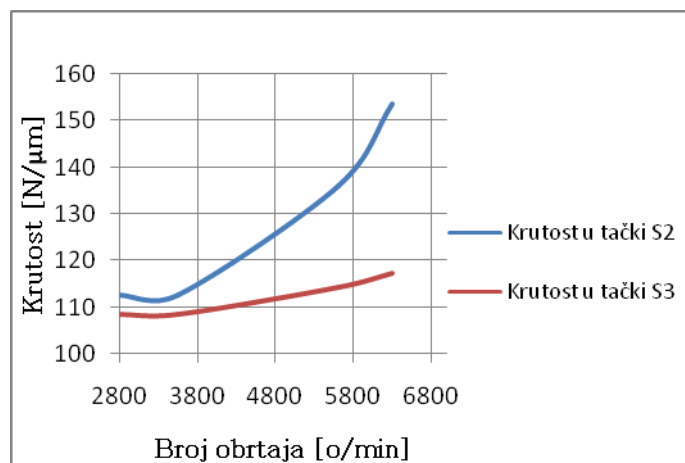
Krutost vrha vretena pri istovremenom toplotnom i aksijalnom opterećenju za maksimalni broj obrtaja glavnog vretena $n=6300$ [o/min] prikazana je u tabeli III.

TABELA III. KRUTOST VRHA VRETENA PRI TOPLOTNO-STATIČKOM OPTEREĆENJU

Krutost vrha vretena	Karakteristične tačke		
	S_1	S_2	S_3
u pravcu X ose [N/ μ m]	153,1	153,1	117,4
	S_1''	S_2''	S_3''
u pravcu X ose [N/ μ m]	156,7	154,6	117,6
	S_1''	S_2''	S_3''
u pravcu X ose [N/ μ m]	155,8	154,2	117,6

Krutost vrha vretena za karakteristične tačke S_2 i S_3 pri toplotnom i aksijalnom opterećenju zavisi od broja obrtaja glavnog vretena i prikazana je na Sl. 8. Prikazana krutost je određena za slučaj stacionarnog temperaturnog stanja.

Definisane karakteristične tačke S_2 i S_3 se nalaze na unutrašnjoj konusnoj površini vrha vretena, koja služi za pozicioniranje držača alata, a time i alata i ima direktan uticaj na tačnost mašine u eksploataciji.



Slika 8. Promena krutosti vrha vretena u funkciji broja obrtaja

IV. ZAKLJUČAK

Analizom rezultata matematičkog modelovanja ponašanja sklopa glavnog vretena pri toplotno – statičkom opterećenju može se zaključiti da se krutost vrha vretena povećava u aksijalnom pravcu usled toplotnog opterećenja za $58,9$ [N/ μ m] u tački S_2 i $22,3$ [N/ μ m] u tački S_3 . Promena statičke krutosti duž unutrašnjeg konusa glavnog vretena indirektno ukazuje i na činjenicu da netačnost izrade ovog konusa ima direktan uticaj na tačnost u eksploataciji. Znači, ako je tako izrađen unutrašnji konus da u tački S_2 ima veći prečnik od teoretskog aksijalno opterećenje će se prenositi preko površine bliže tački

S_3 koja ima manju krutost pa će deformacije, odnosno netačnost biti veća.

Pored pozitivnog uticaja na aksijalnu krutost vrha vretena (smanjuje grešku usled aksijalnog opterećenja), toplotno opterećenje ima uticaj i na radijalnu krutost vrha vretena pri toplotno-statičkom radijalnom opterećenju, pa je i ovom uticaju potrebno posvetiti pažnju kako bi se dobile potpune informacije o uticaju toplotnog opterećenja na statičko ponašanje sklopa glavnog vretena.

LITERATURA

1. A. Živković: Eksperimentalna i računarska analiza toplotno-elastičnog ponašanja sklopa visokobrzinskog glavnog vretena mašina alatki, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007
2. C. Zhao, X. Guan: Thermal analysis and experimental study on the spindle of the high-speed machining center, AASRI Procedia, ISSN:2212-6716, Vol. 1, Pages 207-212, 2012.
3. M. Zeljković: Sistem za automatizovano projektovanje i predikciju ponašanja sklopa glavnog vretena mašina alatki, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1996.
4. SKF, Precision bearings, Catalogue 3700 E, SKF, 1987.
5. V. Blanuša, A. Živković, M. Zeljković: Računarska analiza toplotnog ponašanja sklopa glavnog vretena uležištenog valjkastim dvoredim ležajima, 38 JUPITER konferencija, 25 simpozijum CAD/CAM, ISSN: 978-86-7083-838-3, str. 2.32-2.38, 2014.
6. V. Blanuša: Računarsko modelovanje ponašanja sklopa glavnog vretena uležištenog cilindrično valjčastim dvoredim ležajem, Ispitni rad, Fakultet tehničkih nauka- Novi Sad, 2013.

ABSTRACT

In this paper analyzed the effect of thermal load on the static behavior of main spindle assembly. Main spindle assembly in the front suport have double row cylindrical roller bearing and ball bearing with angular contact. Finite element method are determined amount of displacement in the characteristic points of the top of the spindle under the influence of an axial only static loads in the event of simultaneous thermal and static load (thermal-static model). The stiffness of the spindle at the top of the thermal-static model is specified for different speeds of main spindle assembly.

Keywords: Finite element method, main spindle assembly, stiffness the top of the spindle, thermal elastic behavior, static behavior

THERMAL-STATIC MODEL MAIN SPINDLE ASSEMBLY WITH AXIAL LOAD

Vladimir Blanuša, Branko Savić, Milan Zeljković