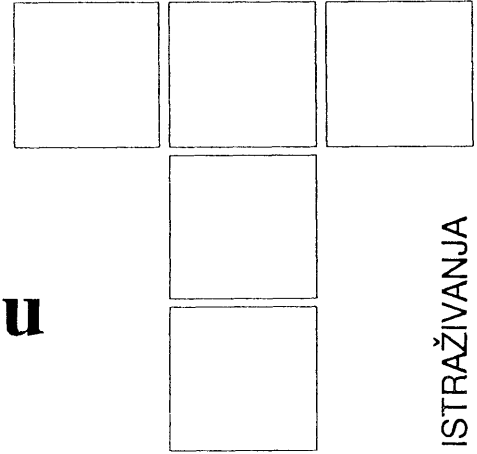


A. VULIĆ, M. KOCIĆ

# Uticaj povećanja temperature na promenu eksploatacionog zazora kod kliznih ležišta od termoplastičnih masa



ISTRAŽIVANJA

## 1. UVOD

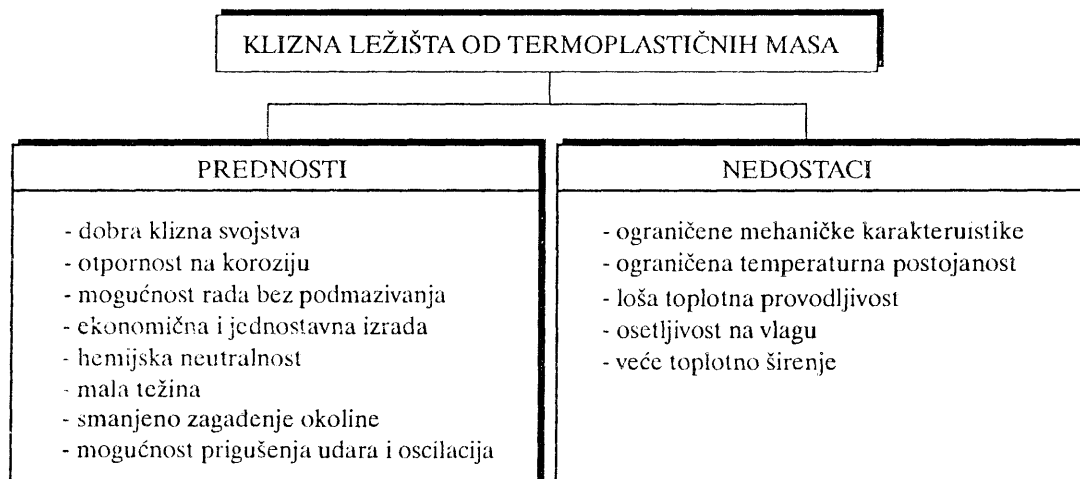
Prisustvo triboloških procesa kod radijalnih kliznih ležišta je nepoželjna pojava kojoj se mora posvetiti posebna pažnja, kako u fazi projektovanja tako i u fazi eksploatacije. Preciznim definisanjem opterećenja, racionalnim izborom materijala, poznavanjem uslova eksploatacije i optimalnim konstruktivnim rešenjem konstruktor nastoji da svede trenje i habanje na minimum odnosno da obezbedi: minimalne gubitke energije, zahtevanu pouzdanost sklopa i dovoljan vek trajanja radijalnog kliznog ležišta.

Termoplastične mase, koje predstavljaju jedno od osnovnih obeležja tehnološkog razvoja pred kraj dvadesetog veka, nude širok dijapazon osobina (naročito tribolo-

ških), kao i mogućnosti da se korišćenjem određene vrste i količine dodataka (punioaca) mogu dobiti materijali koji odgovaraju unapred zadatom opterećenju.

U poredjenju sa metalnim posteljicama ležišta, termoplastične posteljice imaju prednosti i nedostatke koji se mogu razvrstati kao na slici 1, što uslovljava da se njihov postupak dimenzionisanja bitno razlikuje.

Analizom nedostataka (sl. 1) kod kliznih ležišta sa posteljicom od termoplastičnih masa uočavaju se pored izrazite zavisnosti mehaničkih karakteristika kao što su loša toplotna provodljivost i veće toplotno širenje nego kod metala što direktno utiče na razvoj triboloških procesa u kontaktnoj zoni između vratila i posteljice o čemu će biti više reči u ovom radu.



Sl. 1. Prednosti i nedostaci ležišta od termoplastičnih masa  
 Advantages and disadvantages of thermoplastics bearings  
 Достоинства и недостатки подшипников из термопластичов

Dr. Aleksandar Vulić, dipl. ing., vanr. prof.  
 Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14.

Miomir Kocić, dipl. ing., Elektronska industrija

## 2. ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA

Prvi korak u projektovanju kliznih ležišta je analiza uticajnih faktora koja obuhvata prikupljanje informacija o zahtevima koji se postavljaju kliznom ležištu kao elementu tribološkog sistema i kao elementu čitave konstrukcije u okviru koje će biti ugrađen. Ispravna analiza podrazumeva respektovanje svih uticajnih faktora na tribološko

Pravilan izbor zazora između rotirajućeg elementa (vrtila) i nepokretnog elementa (posteljice) je osnovni uslov ispravnog rada kliznog ležišta. Pri većim pritiscima povoljniji su manji zazori a pri manjim pritiscima povoljniji su veći radni zazori. Kod izbora zazora treba imati u vidu da veliki zazori smanjuju trenje odnosno ne proizvodi gubitke energije koji se manifestuje kroz zagrevanje ležišta, dok preveliki zazori prouzrokuju nemiran hod i vibracije [6, 5].



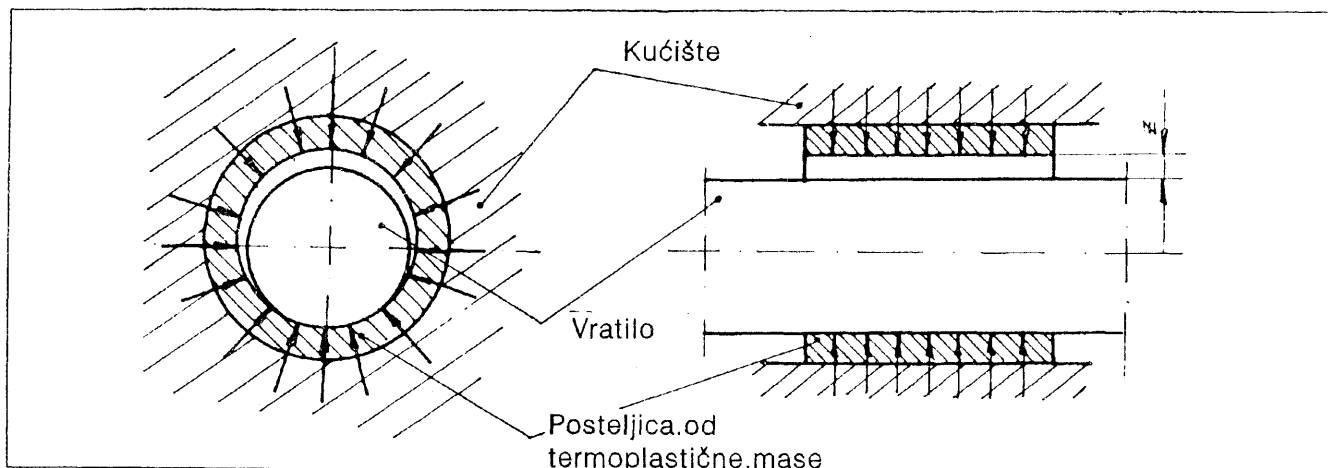
Sl. 2. Klasifikacija uticajnih faktora za ispravnu konstrukciju kliznog ležišta od termoplastičnih masa  
 Classification of influential factors for appropriate construction of the thermoplastics sliding bearing  
 Классификация факторов определяющих качество конструкции подшипника скольжения из термопластичной массы

opterećenje kliznog ležišta od termoplastičnih masa i njihova gruba klasifikacija data je na slici 2.

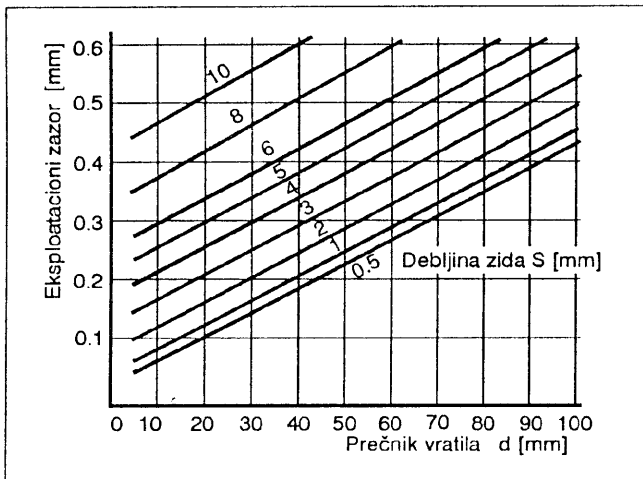
Prikupljanje ovih informacija, ukoliko nisu definisane projektnim zadatkom, treba da omogući sistematičan pristup definisanju tribološkog opterećenja i rešavanju konstrukcijskih problema. U radu će biti razmatran uticaj temperature na širenje posteljice od termoplastične mase i njenom uticaju na promenu eksploatacionog zazora.

Karakteristično je za klizna ležišta od termoplastičnih masa da je montažni zazor veći od eksploatacionog (radnog) zazora odnosno da usled zagrevanja posteljice dolazi do njenog širenja što ima za posledicu smanjenje zazora u toku rada (slika 3).

Veličina eksploatacionog zazora mora biti takva da u slučaju ekstremnog povećanja zapremine posteljice (usled povećanja temperature ili vlažnosti okoline) omogući nesmetano okretanje vrtila odnosno nesme doći do slepljivanja ležišta za vrtilo.



Sl. 3. Smer širenja posteljice od termoplastične mase  
 Expansion sense of the thermoplastics bed  
 Направление расширения вкладыша из термопластичной массы



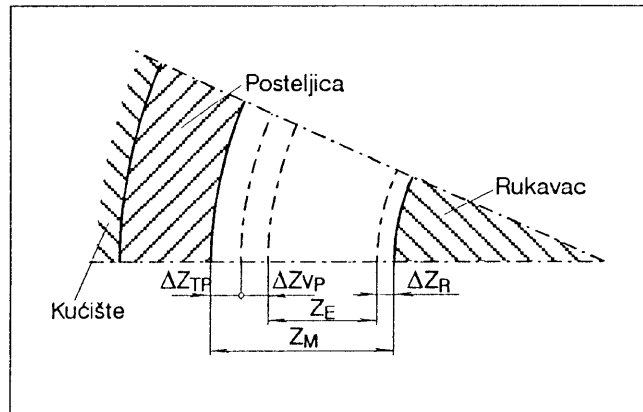
Sl. 4. Preporučene vrednosti eksploatacionog zazora u zavisnosti od prečnika rukavca i debljine zida posteljice  
Recommended values of exploitation clearance as a function of sleeve diameter and bed wall thickness  
Рекомендуемые значения эксплуатационного зазора в зависимости от диаметра вала и толщины вкладыша

Na slici 4 date su empirijske preporuke za veličine eksploatacionog zazora u zavisnosti od debljine termoplastične posteljice i prečnika rukavca [1].

Veličina promene zazora u toku rada termoplastičnog ležišta odnosno razlika između montažnog i eksploatacionog zazora može se izraziti jednačinom:

$$Z_E = Z_M - \Delta Z_{TP} - \Delta Z_{VP} - \Delta Z_R$$

gde su:  $Z_E$  - eksploatacioni zazor,  
 $Z_M$  - montažni zazor,  
 $\Delta Z_{TP}$  - veličina promene zazora usled širenja posteljice pod dejstvom toplote,  
 $\Delta Z_{VP}$  - veličina promene zazora usled širenja termopl. posteljice pod dejstvom vlage,  
 $\Delta Z_R$  - veličina promene zazora usled širenja rukavca pod dejstvom toplote [3].

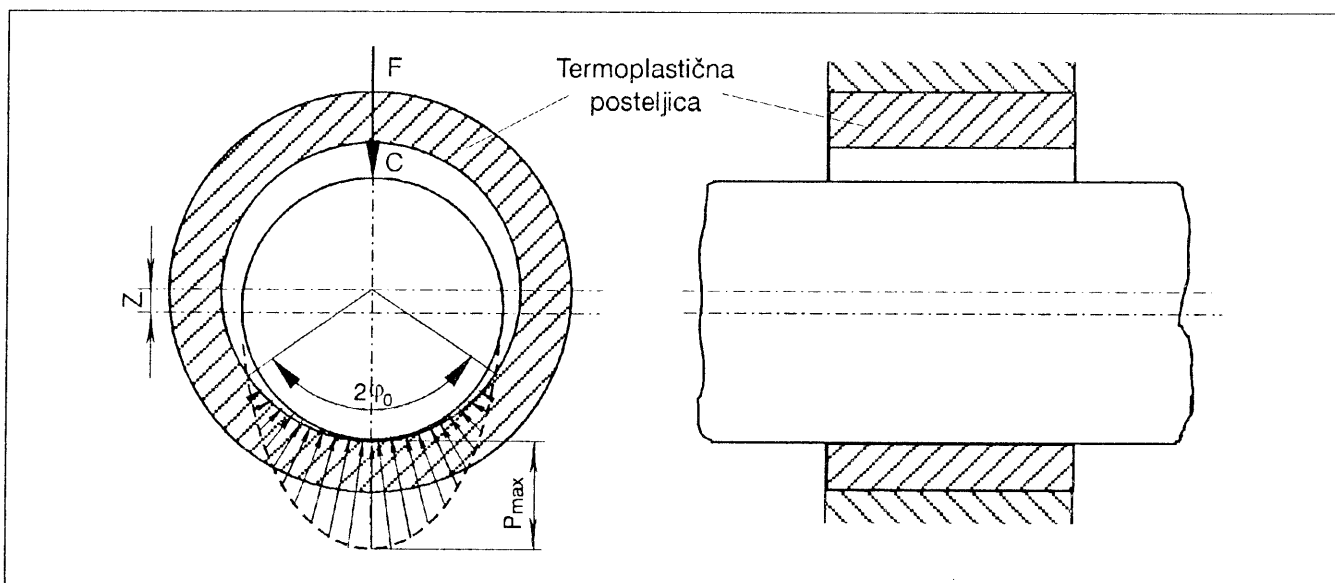


Sl.5. Šematski prikaz promene zazora u toku rada termoplastičnog ležišta  
Schematic representation of clearance variation during thermoplastics bearing exploitation  
Схема изменения зазора в процессе работы термопластичного подшипника

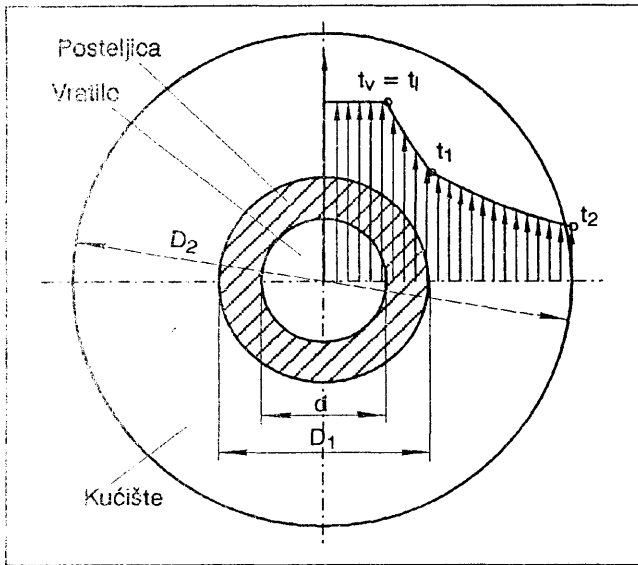
### 3. UTICAJ TEMPERATURE NA PROMENU EKSPLOATACIONOG ZAZORA

Na kontaktnoj površini između posteljice i vratila, koja je ograničena širinom posteljice i uglom  $2\varphi_0$  (slika 6), kao posledica trenja razvija se toplota i ona se odvodi najvećim delom preko kućišta na okolni vazduh, dok manji deo preuzima rukavac i odvodi ga dalje aksijalno kroz vratilo [3, 4].

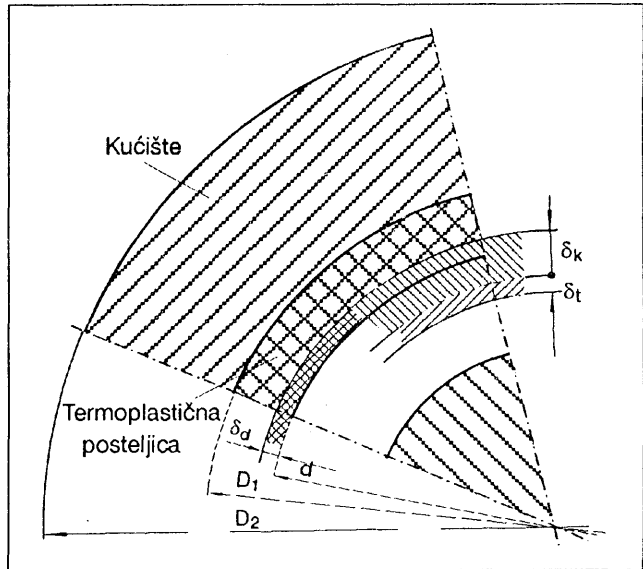
Konstruktivno rešenje i režim rada imaju bitan uticaj na raspored toplote u kontaktnoj zoni između rukavca i termoplastične posteljice. Druga bitna karakteristika pri zagrevanju termoplastičnog ležišta je znatno slabije provodjenje toplote nego kod metala tako da se temperature na spoljašnjem i unutrašnjem prečniku bitno razlikuju (slika 7) [3].



Sl. 6. Raspored pritiska u kontaktnoj zoni rukavac - posteljica od termoplastične mase.  
Pressure distribution in the contact zone of thermoplastics sleeve - bed  
Распределение давления в зоне контакта вала - вкладыша из термопластичной массы



Sl. 7. Dijagram temperature kod posteljice od termoplastične mase, [3].  
Temperature distribution in thermoplastics bed  
Диаграмма температуры вкладыша из термопластичной массы



Sl. 8. Promena eksplotacionog zazora usled širenja posteljice pod dejstvom toplote.  
Variation of exploitative clearance as a function of the bed thermal expansion  
Изменение экслюатационного зазора од условленне тейловым расщирением вкладыша

Veličina promene zazora usled zagrevanja termoplastične posteljice pod dejstvom toplote može se prikazati kao na slici 8, odnosno može se odrediti obrascem:

$$\Delta Z_{TP} = \delta_k + \delta_T - \delta_d$$

gde su:  $\delta_k$  - veličina uticaja kućišta,  
 $\delta_T$  - veličina promene debljine posteljice,  
 $\delta_d$  - veličina promene unutrašnjeg prečnika posteljice.

Metalno kućište je zagrejano na temperaturu  $t_2$  koja je niža od temperature posteljice (slika 7) i u većini slučajeva je masivnije od posteljice, tako da ograničava njeno širenje odnosno povećanje spoljašnjeg prečnika posteljice. Veličina pomeranja kontaktne površine odnosno smanjenje unutrašnjeg prečnika zbog uticaja metalnog kućišta može se odrediti na osnovu empirijskih jednačina:

$$\delta_k = \frac{2 \cdot S_1^2 \cdot 10^5}{S_1^2 + 3} \cdot [ \alpha_p \cdot (K_1 + 1) - 2 \cdot \alpha_k \cdot K_1 \cdot \Phi ]$$

gde su:  $S_1 = D_1/d$  - odnos spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika posteljice,  
 $S_2 = D_2/d$  - odnos spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika kućišta,  
 $\alpha_p$  - koeficijent toplotnog širenja posteljice,  
 $K_1 = t_1/t_v$  - odnos temperatura posteljice,  
 $K_3 = t_2/t_1$  - odnos temperatura na spoljašnjem i unutrašnjem prečniku kućišta,  
 $\alpha_k$  - koeficijent toplotnog širenja kućišta,  
 $\Phi = K_3 + (1 - K_3) f(S_2)$  - funkcija geometrijskih karakteristika a vrednosti funkcije  $f(S_2) = 1/2 \ln S_2 - 1/(S_2^2 - 1)$  mogu se očitati iz dijagrama na slici 9 [3].

$$f(S_2) = \frac{1}{2 \cdot \ln S_2} - \frac{1}{S_2^2 - 1}$$

Promena debljine termoplastične posteljice usled povećanja temperature u kontaktnoj zoni može se odrediti obrascem:

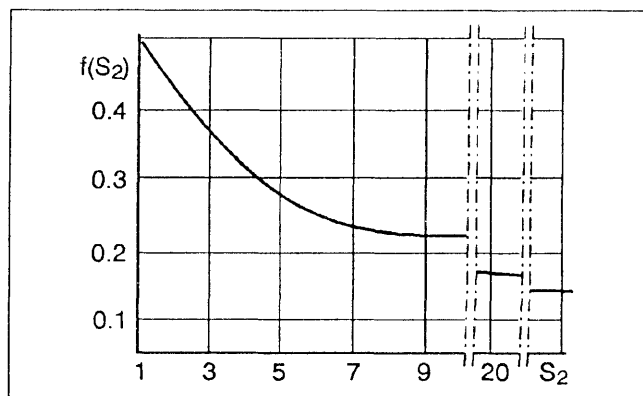
$$\delta_T = \alpha_p \cdot 10^5 \cdot \frac{S_1 - 1}{2} \cdot (K_1 + 1)$$

gde su:  $\alpha_p$  - toplotni kapacitet širenja posteljice,  
 $S_1 = D_1/d$  - odnos spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika posteljice,  
 $K_1 = t_1/t_v$  - odnos temperatura na spoljašnjem i unutrašnjem prečniku posteljice.

Zagrevanjem termoplastične posteljice dolazi do povećanja njenog unutrašnjeg prečnika koje se može odrediti obrascem:

$$\delta_d = \alpha_p \cdot 10^5 \cdot \frac{K_1 + 1}{2}$$

gde su:  $\alpha_p$  - temperaturni koeficijent širenja posteljice,  
 $K_1 = t_2/t_v$  - odnos temperatura na spoljašnjem i unutrašnjem prečniku.



Sl. 9. Grafik funkcije f(S2)  
Diagram of a function f(S2)  
График функции f(S2)

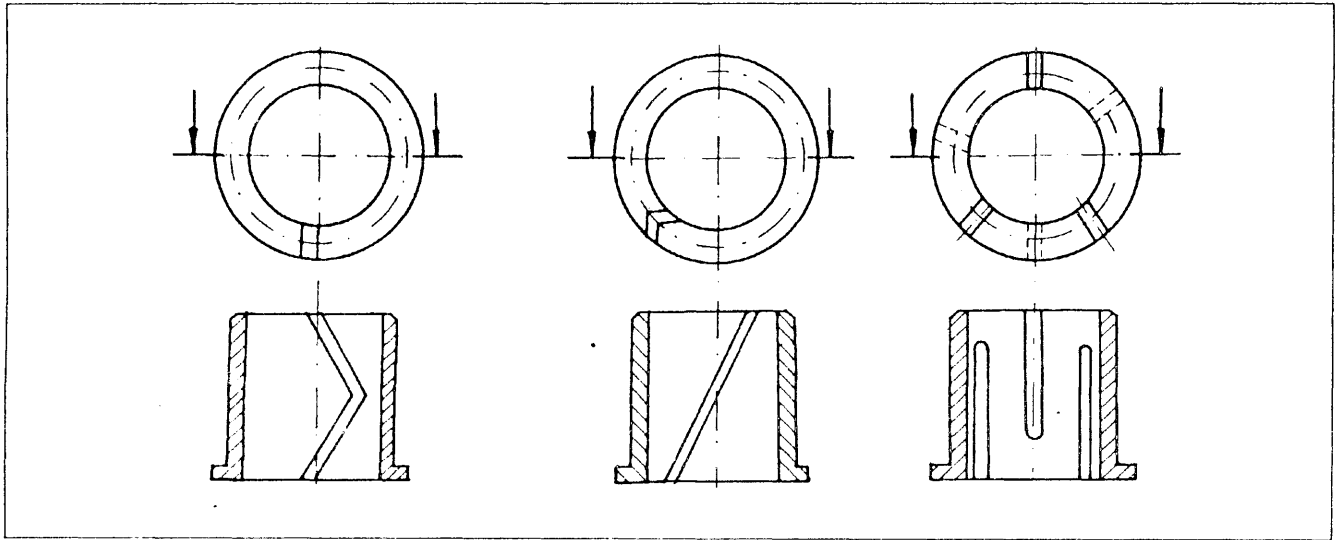
#### 4. PRIMERI KONSTRUKCIJSKIH REŠENJA ZA KOMPENZACIJU UTICAJA TEMPERATURE

Pored svih zahteva definisanih projektnim zadatkom, zahteva tehnologije izrade i tehnologije montaže, konstrukcijsko rešenje posteljice od termoplastičnih masa treba da omogući i uspešnu kompenzaciju važnog nedostatka kao što je izrazito povećanje zapremine usled zagrevanja. Ova konstrukcijska rešenja se ne mogu generalizovati jer su striktno prilagodjena datoj konstrukciji i uslovima eksploatacije. U nastavku će biti dato nekoliko uspešnih odnosno u praksi proverenih rešenja.

Kod malih opterećenja izradom dvozidne posteljice spojene konusom mogu se dobiti kvalitetna rešenja za kompenzaciju promene zazora usled zagrevanja kao na slici 12 [1].

U slučajevima kada pored zagrevanja imamo i vibracije kao što je to slučaj kod ležišta raznih elektromotora, uspešno su se pokazala rešenja data na slici 13.

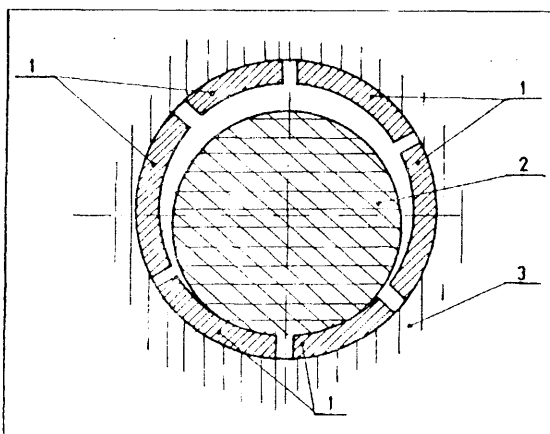
Navedena konstruktivna rešenja su predviđena za proizvodnju injekcionim brizganjem i za montažu u serijskoj proizvodnji. Za veća opterećenja koriste se ležišta sa dve posteljice male dužine a razmak izmedju posteljica (sl. 14) obezbedjuje kompenzaciju zapreminskog širenja usled temperature [1].



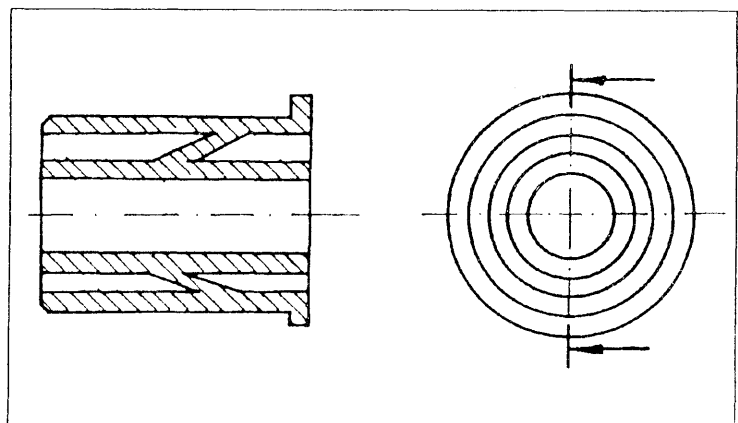
Sl. 10. Primeri termoplastičnih posteljica sa prorezom [4]  
Examples of thermoplastic beds with slots  
Термопластичные вкладыши с прорезами

Primeri kliznih ležišta dati na slici 10 sa prorezom za kompenzaciju temperaturnih dilatacija pokazali su se posebno uspešnim za manje dimenzije i male brojeve obrtaja [4]. Za velike prečnike jedno od uspešnih rešenja je izrada ležišta iz segmenata (slika 11) pri čemu zazori izmedju segmenata kompenziraju promenu zapremine dok se pričvršćivanje segmenata može izvesti vijcima sa upuštenom glavom ili različitim nastavcima [1].

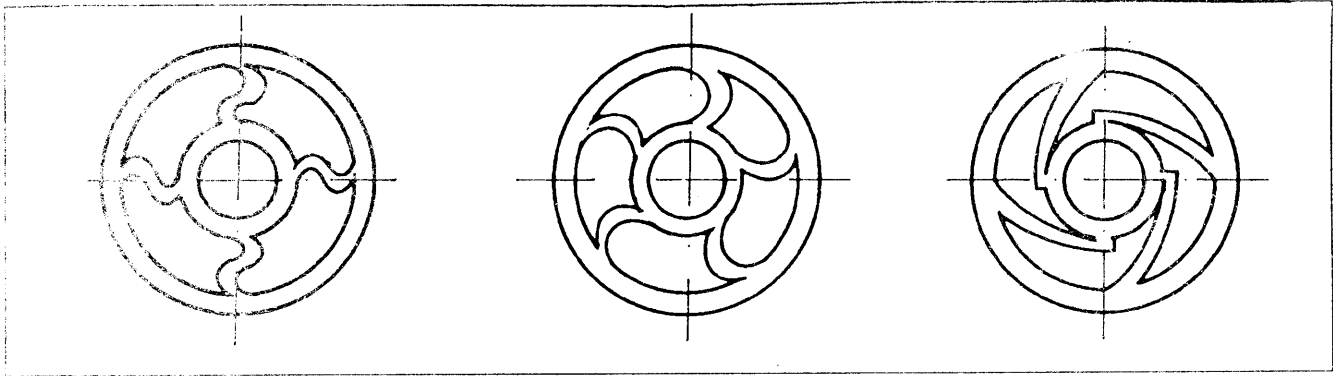
U serijskoj proizvodnji kliznom ležištu se često dodaju elementi za fiksiranje, pridržavanje kablova, održavanje distanci i slično. Na slici 15 dat je primer izrade kućišta elektromotora i posteljice kliznog ležišta iz jednog dela. Sa slike se jasno mogu uočiti prorezi za kompenzaciju toplotnog širenja [4].



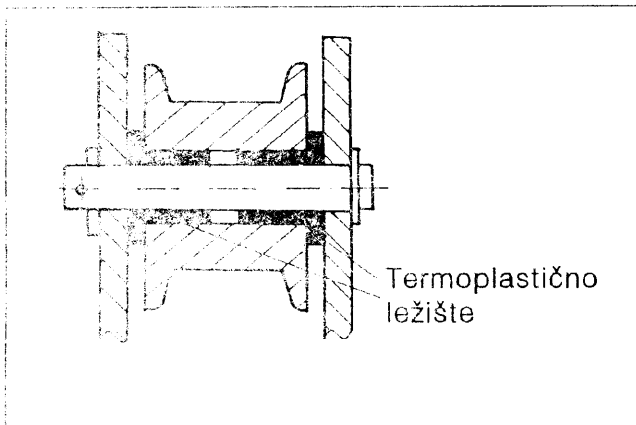
Sl. 11. Termoplastično ležište iz segmenata  
Thermoplastic bearing made of segments  
Разъемный термопластичный вкладыш



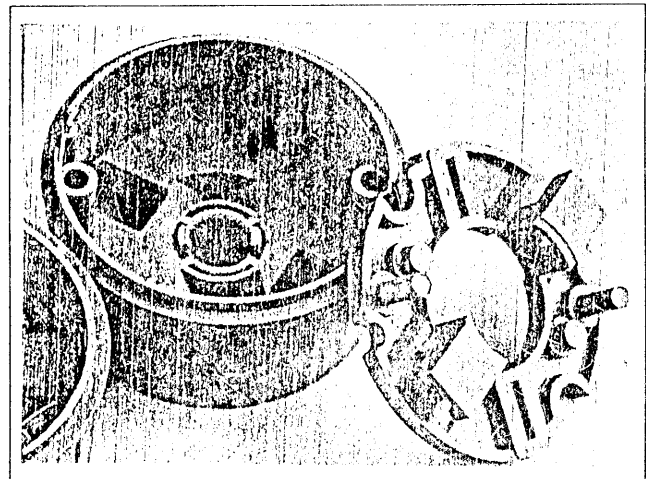
Sl. 12. Termoplastična posteljica sa konusom  
Thermoplastic bed with a cone  
Конический термопластичный вкладыш



Sl. 13. Primeri termoplastičnih posteljica pogodnih za kompenzaciju temperature i vibracija  
 Examples of thermoplastic beds suitable for compensation of temperature and vibrations  
 Термопластичные вкладыши удобные для возмещения температуры и вибраций



Sl. 14. Primer ugradnje dve posteljice sa razmakom za kompenzaciju zapreminskog širenja  
 Examples of assembling of two beds with clearance for compensation of volume expansion  
 Устанавливаки двух вкладышей с расстоянием для возмещения повышенного объема



Sl. 15. Primer izrade jednodelnog kućišta elektromotora i posteljice kliznog ležišta  
 Example of design of electric engine single-part housing and sliding bearing bed  
 Неразъемный корпус электродвигателя и вкладыши подшипника скольжения

## 5. ZAKLJUČAK

S obzirom na nemogućnost potpunog eliminisanja pojave trenja na kontaktnoj površini rukavac - posteljica, projektant je dužan da respektuje sve faktore koji utiču na tribološke procese u ležištu.

Specifičnosti termoplastičnih masa kao što su znatno veće toplotno širenje i lošija toplotna provodljivost uslovljavaju da se postupak dimenzionisanja bitno razlikuje nego kod metalnih kliznih ležišta, ali da uz poznavanje radnih uslova i uslova okoline uspešno dovodi do konstruktivnog rešenja koje, sa dovoljnom sigurnošću, kontroliše povećanje zapremine usled zagrevanja, i time obezbeđuje kvalitetnu funkciju i zahtevani vek trajanja.

Saradnikom za našu industriju je da raspolaže kapacitetima za proizvodnju, ali je primena termoplastičnih masa u proizvodnji kliznih ležišta nezadovoljavajuća. Razlozi za to su: nedovoljno informacija iz ove oblasti (nedovoljno radova, izveštaja o mogućnostima i saradnji proizvođača i sl.), nedovoljno ulaganja u istraživački rad i nemogućnost obezbeđivanja kvalitetnih plastičnih masa iz uvoza.

Eliminisanje nabrojanih otežavajućih okolnosti treba da omogući povećanu primenu termoplastičnih masa ne samo u proizvodnji kliznih ležišta već i u proizvodnji tribomehaničkih sistema uopšte.

## LITERATURA

- [ 1.] A. MARIČIĆ: Primena polimernih materijala u tehnici, Zagreb 1982.
- [ 2.] A. RAC: Tribologija, Inženjersko mašinski priručnik, Beograd 1987
- [ 3.] A. A. ЧИЧИНАДЗЕ: Полимеры в узлах трения машины и приборов, Машиностроение, Москва 1988.
- [ 4.] Designing bearings in du point's, Engineering plastics, Du point A - 75995.
- [ 5.] J. INDOF: Tribološke pojave pri trenju konstrukcijskih plastomera, disertacija, F. S. B. Zagreb, 1981.
- [ 6.] K. H. DEKER: Elementi strojeva, Tehnička knjiga, Zagreb, 1975.

- [ 7.] M. NEDELJKOVIĆ: *Osnovni koncept projektovanja i konstruisanja tribomehaničkih sistema*, Tribologija u industriji, 1990, N<sup>o</sup>1
- [ 8.] M. JANKOVIĆ: *Eksploatacione karakteristike radijalnih kliznih ležišta od plastične mase domaće proizvodnje*, magistarski rad, M. F. Beograd, 1976.
- [ 9.] П. И. ОРЛОВ: *Основни конструирования*, 1, 2, Машиностроение, Москва, 1988.
- [10.] П. А. ПЛАВЛОВ: *Основни инженерних расчетов элементов машины на усталости длительную прочность*, Машиностроение, Ленинград, 1988.
- [11.] S. TANASIJEVIĆ: *Osnovi tribologije mašinskih elemenata*, Naučna knjiga, Beograd 1989.

## **Influence of Temperature Increase on Variation of Exploitation Clearance in Sliding Bearings Made of Thermoplastic Masses**

*The application possibilities of thermoplastics for slide bearing shell are analysed in work. The temperature influence on thermoplastics shell expansion is specially considered. In work is given a possibility for calculating determination of clearance size change because of shell expansion. Also are given the examples of construction solutions for bearing shell, which have a compensation possibility for temperature influence.*

## **Воздействие повышения температуры на изменение эксплуатационного зазора подшипников скольжения из термопластов**

*В работе анализируются возможности использования термопластичных масс для изготовления подшипников качения. Особенно рассматривается влияние температуры на расширение вкладышей из термопластов. В работе изложен и способ расчетного определения величины изменения зазора при расширении вкладыша. Приведены также и примеры конструктивных решений вкладышей подшипников, которыми обеспечивается возмещение воздействия температуры.*