

Eksperimentalno određivanje uticaja opterećenja na zagrijavanje kotrljajnog ležaja

Miroslav Milutinović, Nikola Vučetić, Spasoje Trifković, Dejan Samardžija

Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina, Republika Srpska
m.milutinovic82@gmail.com

Sažetak — Osnovni zadatak ležaja jeste da omogući relativno kretanje obrtnih mašinskih dijelova tokom prenošenja opterećenja sa odgovarajućom tačnošću njihovog položaja. U toku rada obrtnih dijelova, na ležajima može doći do nastanka povišenih temperatura, koje mogu nastati usljed neispravnosti ležaja ili pak pojave preopterećenja. Radi određivanja uslova nastanka povišene temperature na kotrljanom ležaju usljed pojave preopterećenja, u ovom radu su vršena ispitivanja i upoređivanje rezultata neopterećenog i opterećenog ležaja poznatim masama. Za određivanje temperature ležaja korišćena je termovizijska kamera. Na osnovu dobijenih rezultata formiran je uporedni dijagram na kome se vidi tok zagrijavanja i hlađenja ležaja, za sva predmetna ispitivanja.

Ključne riječi— *kotrljajni ležaj; zagrijavanje ležaja; termovizijska kamera*

I. UVOD

Jedina funkcionalna veza između pokretnih i nepokretnih dijelova u toku rada mašinskih sistema može da bude ležaj, koji ujedno može da prenosi opterećenje i između pokretnih dijelova koji imaju različitu brzinu ili smjer rotacije. Usljed rada mašinskih sistema u realnim uslovima eksploatacije može doći do preopterećenja ležaja, što uzrokuje pojavu zagrijavanja i potencijalnog otkaza ležaja, pa i kompletnog mašinskog sistema. Osnovna ideja za određivanje uslova nastanka povišenih temperatura na kotrljajnim ležajima usljed pojave preopterećenja jeste upoređivanje temperaturnih vrijednosti za različita opterećenja pri istim uslovima rada. Kao osnova za poređenje korišćen je temperaturni dijagram za neopterećen ležaj. Povećavanjem masa na rotacionim dijelovima dolazi povećavanja opterećenja ležaja i nastanka uslova za njegovo zagrijavanje. Za određivanje temperatura ležaja moguće je koristiti različite metode, koje mogu biti: kontaktnim (ugradnja mjernog senzora u kućište ležaja obrađenim u [1] ili postavljanjem mjernih senzora na kućište obrađenim u [2-4]) ili beskontaktnim putem (prikazanim u [5] ili korišćenjem FLIR kamere u radu [6]). Na osnovu izmjerenih temperatura na ležaju moguće je provjeriti i termičku stabilnost ležaja što prikazuju autori u radu [6].

Usljed povećavanja temperature ležaja mogu nastati različiti tipovi oštećenja ležaja koji mogu izazvati razaranje kompletnih mašinskih sklopova. Takođe, mogu nastati

geometrijske promjene na ležajima koje izazivaju pojavu vibracija, a samim tim i razaranje sklopova kao što su konusni mjenjački prenosnici [7].

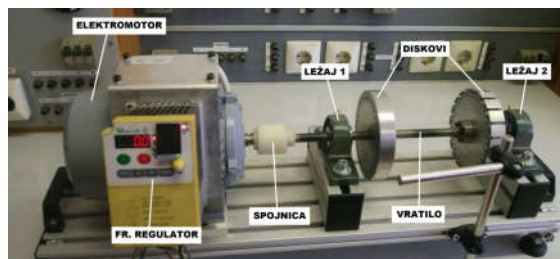
II. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE TEMPERATURE KOTRLJAJNOG LEŽAJA

U cilju definisanja temperaturnih promjena na kliznim ležajima usljed promjene djelovanja opterećenja na ležaj, odnosno usljed povećanja opterećenja izvršeno je mjerenje temperature ležaja korišćenjem termovizijske kamere (sl. 1).

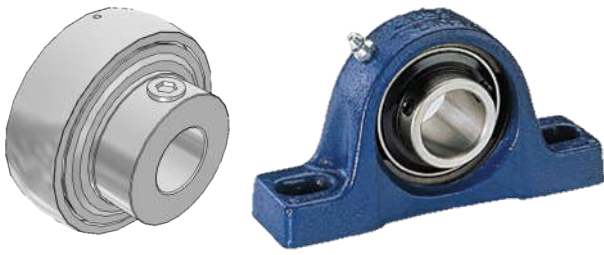


Slika 1. Termovizijska kamera

Mjerenja su izvršena na probnom stolu (sl. 2) koji se sastoji od elektromotora čiji se broj obrtaja reguliše frekventnim regulatorom. Vratilo elektromotora je posredstvom kandžaste spojnice spojeno sa vratilom na kome se nalazi poznato opterećenje. Vratilo je na dva mjesta oslonjeno preko kotrljajnih ležaja tipa SKF YAR 203/12-2F (sl. 3).

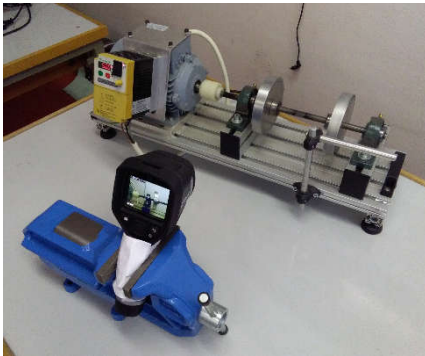


Slika 2. Probni sto za ispitivanje vibracija



Slika 3. Kotrljajni ležaj tipa SKF YAR 203/12-2F

Prije početka mjerenja izvršeno je podešavanje kamere koje se odnosilo na udaljenost kamere od objekta mjerenja, zatim materijala ležaja na kome se mjeri temperatura, i na kraju izvršeno fiksiranje kamere na podešenom rastojanju (sl. 4). Kamera je usmjerena ka ležaju koji se nalazi bliže elektromotoru, odnosno na strani pogonskog sistema.



Slika 4. Kotrljajni ležaj tipa SKF YAR 203/12-2F

Kao opterećenje koje je varirano na vratilu korišćene su poznate mase od 631g, 589g i 171g koje su bile dostupne istraživačima (sl. 5).



Slika 5. Izmjerene mase diska na preciznoj vagi

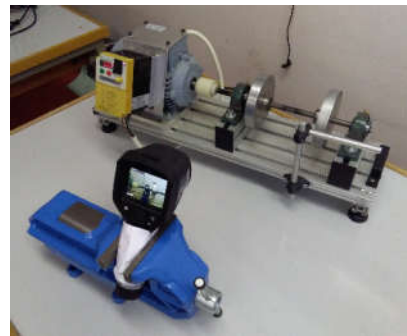
Radna temperatura kotrljajnog ležaja u svim varijantama mjerena je za vrijednost frekvencije 50 Hz, odnosno za broj obrtaja 3000 o/min. Za sve slučaje studija početna temperatura mjerenja bila je sobna temperatura, tako da je od početka rada ležaja do trenutka dostizanja maksimalne vrijednosti temperature i hlađenja do iste vršeno snimanje rezultata na svakih 30 s, odnosno očitavanje vrijednosti. Na osnovu izmjerenih vrijednosti formirani su dijagrami zagrijavanja i hlađenja ležaja.

U prvom slučaju vršeno je mjerenje temperature ležaja na neopterećenom ležaju, odnosno pri radu ležaja sa neopterećenim vratilom (sl. 6).



Slika 6. Mjerenje temperature na neopterećenom ležaju

Nakon izmjerenih vrijednosti za neopterećen ležaj uređaj je zaustavljen i na vratilo je postavljen disk mase 631g (sl. 7), nakon čega je ponovljen postupak mjerenja temperature ležaja. Postupak je ponovljen i za naredna dva slučaja dodavanja opterećenja od 589 g i 171 g, s tim da je nakon mjerenja sa masom od 631 g dodata masa diska od 589g, tako da je vratilo bilo opterećeno sa 1220g (sl. 8). U narednom slučaju je još dodata masa od 171g, tako da je vratilo bilo opterećeno sa 1391g (sl. 9).



Slika 7. Opterećenje vratila masom od 631 g



Slika 8. Opterećenje vratila masom od 1220 g



Slika 9. Opterećenje vratila masom od 1391 g

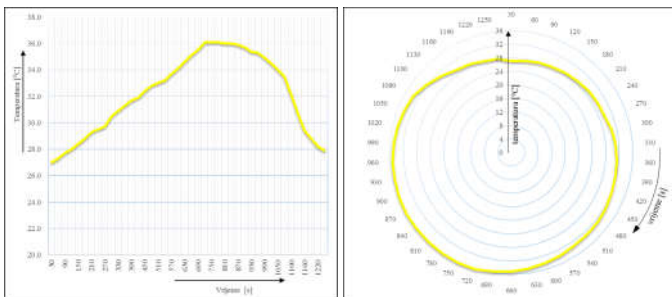
Važno je napomenuti da je u svim slučajevima postavljanja opterećenja na vratilo zadržano isto rastojanje od ležaja na kome je vršeno mjerenje do centra djelovanja mase. Takođe, vođeno je računa o tome da usljed djelovanja mase na vratilo, ne dođe do savijanja vratila, čime bi nastao ugib u ležaju i koji bi dodatno opterećivao ležaj i uticao na povećanje temperature.

III. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu prethodno opisane metodologije ispitivanja temperaturnih promjena na ležajima, za sve slučaje studija (neopterećen i opterećen ležaj različitim masama) formirani su dijagrami na kojima se vide promjene temperatura u zavisnosti od vremena.

1) Zagrijavanje neopterećenog kotrljajnog ležaja

Na osnovu ispitivanja neopterećenog kotrljajnog ležaja (sl. 6) dobijen je dijagram temperaturnih promjena (sl. 8). Dijagram je formiran na osnovu izmjenjenih temperatura na ležaju sa korakom od 30s do maksimalnog zagrijavanja ležaja, odnosno do njegovog hlađenja.

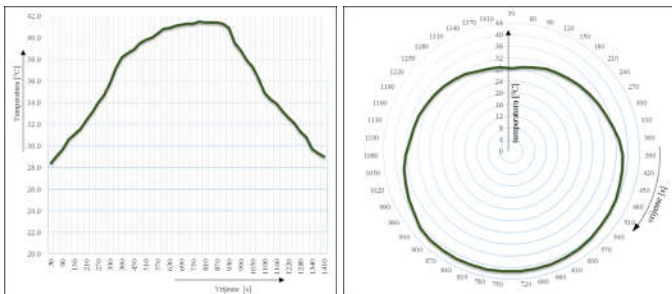


Slika 8. Dijagram temperaturnih promjena na neopterećenom ležaju

Temperatura ležaja na početku mjerenja iznosila je 27°C, dok je temperatura okoline u kojoj je vršen eksperiment iznosila 28°C. U toku ispitivanja pri konstantnih 3000 o/min ležaj se zagrijao na maksimalnu temperaturu od 36,1°C. Maksimalna vrijednost temperature dostignuta je za oko 12 minuta, dok je vrijeme hlađenja ležaja trajalo 9 minuta, što u ovom slučaju znači da se ležaj zagrijao do maksimalne temperatura ohladio na početnu temperaturu za 21 minutu.

2) Zagrijavanje kotrljajnog ležaja opterećenog masom od 631g

Za slučaj opterećenog ležaja masom od 631 g, pri istim uslovima ispitivanja dobijen je dijagram temperaturnih promjena (sl. 9).

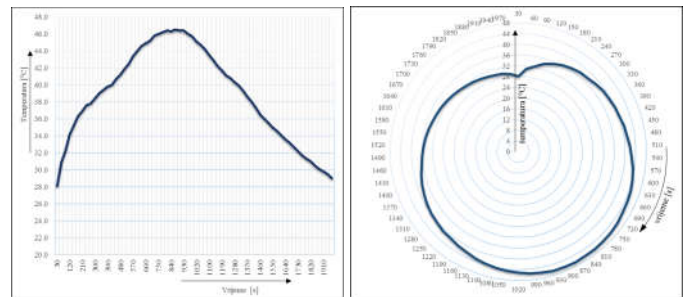


Slika 9. Dijagram temperaturnih promjena na ležaju opterećenog masom od 631g

U slučaju rada ležaja opterećenog masom od 631g maksimalna izmjerena temperatura je iznosila 41,5°C, što je za 5,4 stepena više nego u slučaju mjerenja na neopterećenom ležaju. Maksimalna temperatura je dostignuta za 13 minuta, dok je vrijeme hlađenja trajalo 10,5 minuta.

3) Zagrijavanje kotrljajnog ležaja opterećenog masom od 1220g

Povećavanjem opterećenja vratila na 1220g, a samim tim i ležaja, povećava se i maksimalna temperatura na koju se zagrijava ležaj. Za slučaj opterećenja od 1220g maksimalna izmjerena temperatura ležaja iznosila je 46,5°C (sl. 10).

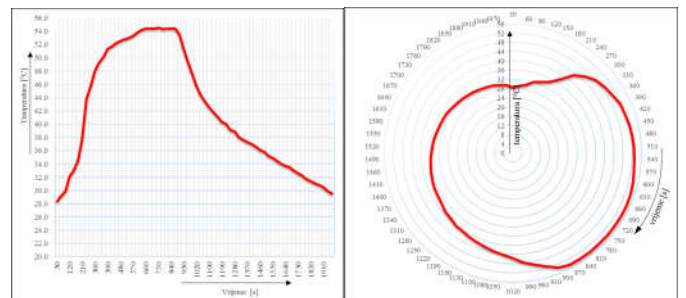


Slika 10. Dijagram temperaturnih promjena na ležaju opterećenog masom od 1220g

Vrijeme za koje je ležaj dostigao maksimalnu temperaturu iznosilo je 14,5 minuta, dok se ležaj hladio do početne temperature 18,5 minuta.

4) Zagrijavanje kotrljajnog ležaja opterećenog masom od 1391g

Maksimalno opterećenje koje korišćeno za ovo ispitivanje iznosilo je 1391g. Prilikom rada ležaja opterećenog ovom masom, maksimalna temperatura na koju se ležaj zagrejao iznosila je 54,5°C (sl.11).



Slika 11. Dijagram temperaturnih promjena na ležaju opterećenog masom od 1391g

Vrijeme za koje se ležaj zagrejao do maksimalne temperature iznosilo je 12,5 minuta, dok se hladio do početne temperature 20,5 minuta.

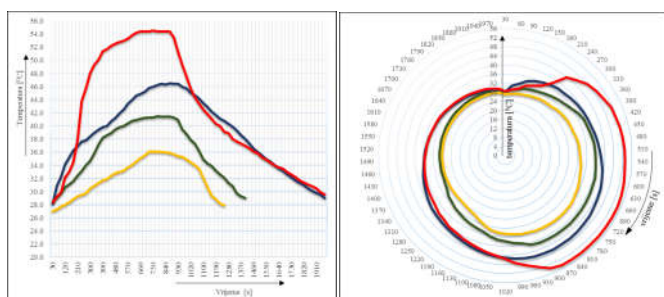
5) Zbirni dijagram predmetnih ispitivanja

Na osnovu prethodno prikazanih dijagrama u tabeli 1. date su maksimalne temperature na koje se ležaj zagrejavao pri različitim opterećenjima, vrijeme potrebno za postizanje ovih temperatura, kao i brzina zagrijavanja ležaja.

Tabela 1. Vrijednosti izmjerenih parametara pri mjerenju temperature kotrljajnog ležaja za četiri varijante

Opterećenje kotrljajnog ležaja	Maksimalna temperatura zagrijavanja (°C)	Vrijeme postizanja maksimalne temperature (min.)	Brzina zagrijavanja (°C/min.)
Bez opterećenja	36,1	12	3
Masa 631g	41,5	13	3,18
Masa 1220g	46,5	14,5	3,21
Masa 1391g	54,5	12,5	4,36

Na osnovu dobijenih rezultata može se konstatovati da sa povećanjem opterećenja ležaja raste i temperatura na koju se ležaj zagrijava. Naime, ukoliko se ležaj optereti masom od 631g maksimalna temperatura na koju se ležaj zagrije iznosi 41,5°C, što je za 4,5°C ili 13,01% više nego u slučaju neopterećenog ležaja. Povećanjem mase na 1220g povećava se i temperatura na 46,5°C, što je za 10,4°C više u odnosu na neopterećeni ležaj, odnosno 22,36%. U slučaju maksimalnog opterećenja od 1391g ležaj se zagreje na 54,5°C, što je za 18,4°C stepena više u odnosu na neopterećen ležaj ili 33,76%. Na sl.12 dat je zbirni dijagram na kome se vidi tok zagrijavanja i hlađenja ležaja.



Slika 12. Zbirni dijagram temperaturnih promjena na ležaju

Na dijagramu se vidi i ciklus zagrijavanja i hlađenja ležaja za različita opterećenja, s tim da sa povećanjem opterećenja raste i vrijeme hlađenja ležaja, odnosno sa svakim povećanjem opterećenja povećava se i prsten kojim je definisan ciklus. Ono što se može zaključiti jeste da svaki naredni prsten obuhvata prethodne i da sa povećanjem opterećenja raste i nagib krive hlađenja ležaja.

S druge strane sa porastom opterećenja raste i brzina zagrijavanja ležaja.

IV. ZAKLJUČAK

Glavni cilj rada bio je dijagnostikovanje temperaturnih promjena na kotrljajnom ležaju SKF YAR 203/12-2F za različite varijacije opterećenja pri istim uslovima rada, odnosno pri istom broju obrtaja. Temperaturne promjene su praćene termovizijskom kamerom na svakih 30s i snimane u odgovarajućoj formi radi formiranje dijagrama. Merenja su vršena za neopterećeni i opterećeni kotrljajni ležaj različitim masama (631g, 1220g i 1391g), na osnovu čega su dijagnostikovani tokovi zagrijavanja i hlađenja ležaja. Kao doprinos ovoga rada jeste dijagnostika uticaja povećanja opterećenja ležaja na povećanje maksimalne temperature na koju se ležaj zagrijava, kao i povećanje brzine zagrijavanja ležaja. Kroz rad su prikazane i uporedne vrijednosti

zagrijavanja neopterećenog i opterećenog ležaja, na osnovu čega se može zaključiti da sa povećanjem opterećenja na 631g ležaj se zagrijava za oko 13% više nego neopterećen ležaj, dok sa povećanjem mase na 1220g temperatura je viša za 22,36%. U slučaju opterećenja ležaja masom 1391g temperatura je veća za 33,76% u odnosu na neopterećeni ležaj. Takođe, predstavljene su promjene brzine zagrijavanja sa povećanjem opterećenja, što za povećanje opterećenja na 1391g brzina zagrijavanja se povećava za 1,36°C/min u odnosu za brzinu zagrijavanja neopterećenog ležaja. Ovaj rad predstavlja osnovu za nastavak istraživanja u pogledu dijagnostike zagrijavanja ležaja za različite brojeve obrtaja i različita opterećenja, na osnovu čega bi se mogao formirati model koji bi predstavljao tok zagrijavanja ležaja pri različitim uslovima opterećenja.

LITERATURA

- [1] C. Brecher1, M. Fey, A. Hassis, S. Bonerz, "High-Speed Rolling Bearing Test Rigs with Contactless Signal Transmission for Measuring the Inner Ring Temperature, " European Telemetry and Test Conference, 2014, pp. 116-125, DOI 10.5162/etc2014/7.1
- [2] Y. Dong, Z. Zhou, Z. Liu and K. Zheng, "Temperature field measurement of spindle ball bearing under radial force based on fiber Bragg grating sensors, "Advances in Mechanical Engineering 2015, Vol. 7(12) 1-6, DOI: 10.1177/1687814015620332
- [3] A. S. Yang, S. Z. Chai, H. H. Hsu, T. C. Kuo, W. T. Wu, W. H. Hsieh and Y. C. Hwang, "Prediction of Thermal Deformation for a Ball Screw System Under Composite Operating Conditions, "Transactions on Engineering Technologies, 2014, pp 17-30
- [4] Y.R. Jeng, C.C. Gao, "Investigation of the ball bearing temperature rise under an oil-air lubrication system, " IMechE 2001, pp.139- 148
- [5] J. A. Henao-Sepulveda, M. T. Quinones, and Y. Jia, "Contactless monitoring of ball bearing temperature, " Instrumentation and Measurement Technology Conference, Ottawa, Canada, May 2005.
- [6] N. Vučetić, A. Đurić, M. Milutinović, "Experimental determination of sliding bearing operating temperature" ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering Tome XIV [2016] – Fascicule 2 [May] ISSN: 1584-2665 pp. 169-172
- [7] R.B. Randall, "Detection and diagnosis of incipient bearing failure in helicopter gearboxes" Engineering Failure Analysis, Volume 11, Issue 2, April 2004, pp. 177-190

ABSTRACT

The main task of the bearings is to allow relative movement of rotating machine elements while transferring the loads with appropriate accuracy their position. During operation of the rotating parts, the temperature of the bearings may be increased, which may occur due to malfunction of the bearing or the occurrence of an overload. In order to determine the conditions of elevated temperatures on the rolling bearings due to the appearance of overloads, in this paper we investigated and compared the results unloaded and loaded bearing with a known loads. The thermographic camera was used to determine the temperature of the bearings. Based on the obtained results, the comparative diagram which shows the flow of heating and cooling of the bearings for all subject tests was formed.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE LOAD INFLUENCE ON THE HEATING OF THE ROLLING BEARINGS

Mirosalv Milutinović, Nikola Vučetić, Spasoje Trifković, Dejan Samardžija