

Michał BAK*, Michał LIBERA*, Marian JÓSKO*

WPLYW WARUNKÓW SMAROWANIA NA ZMIANY STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI ELEMENTÓW ŁOŻYSK TOCZNYCH

THE EFFECT OF LUBRICATION ON SURFACE ROUGHNESS CHANGE OF ROLLING BEARING ELEMENTS

Słowa kluczowe:

łożyska toczne, smarowanie, struktura geometryczna powierzchni

Key words:

rolling bearings, lubrication, surface roughness

Streszczenie

W artykule podjęto zagadnienie eksploatacyjnej warstwy wierzchniej węzłów tocznych. Przedstawiono badania zmian struktury geometrycznej powierzchni elementów łożysk tocznych, w efekcie pracy na stanowisku, na którym węzeł trący jest modelem walcowego łożyska tocznego (STBL-02). Badania przeprowadzono na trzech grupach wałeczków łożyskowych, które pracowały w odmiennych warunkach smarowania. W konsekwencji stwierdzono istotny wpływ warunków smarowania na przebieg zmian wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni.

* Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3.

WPROWADZENIE

Łożyska toczne podlegają procesowi zużycia, na który może oddziaływać wiele czynników eksploatacyjnych. Poprawnie wytworzone, zamontowane i użytkowane łożyska tracą jednak zdatność głównie na skutek uszkodzeń zmęczeniowych, będących następstwem cyklicznego oddziaływania naprężeń w strefach kontaktu bieżni pierścieni i elementów tocznych [L. 1].

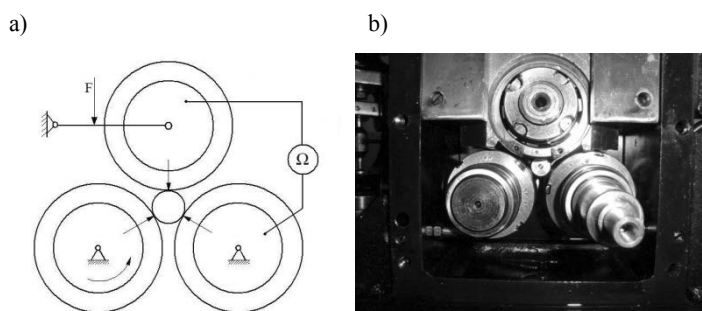
Zmęczeniowa forma zużycia elementów łożysk tocznych będzie dominowała, gdy warunki smarowania występujące w węźle zapewnią tarcie płynne. Jednak w trakcie rzeczywistej eksploatacji łożysk często zdarzają się sytuacje, w których elastohydrodynamiczny film smarny rozdzielił współpracujące powierzchnie. Zatem warto prześledzić transformację technologicznej warstwy wierzchniej w eksploatacyjną dla różnych warunków smarowania.

Wyniki prac przeprowadzonych w wielu ośrodkach badawczych sygnalizują wpływ zmian parametrów struktury geometrycznej powierzchni (SGP) na powierzchniową trwałość zmęczeniową najczęściej jedynie dla dużych wahań chropowatości [L. 2–5]. W literaturze przedmiotu nieczęsto spotyka się wyniki badań, w których skupiono by się na zmianach chropowatości rzędu dziesiątych lub setnych części mikrometra. Zdaniem autorów, nawet niewielkie zmiany SGP powierzchni tocznych mogą wpływać na trwałość tak precyzyjnych elementów maszyn, jakimi są łożyska.

Celem badań było empiryczne wyznaczenie zmian struktury geometrycznej powierzchni wybranych elementów łożysk tocznych pracujących na stanowisku badawczym w różnych warunkach smarowania.

METODYKA BADAŃ

Badania tribologiczne przeprowadzono na stanowisku STBL-02, w którym jeden element toczny łożyska NU309 współpracuje z trzema pierścieniami wewnętrznymi (Rys. 1).



Rys. 1. Węzeł tarcia stanowiska STBL-02: a) schemat, b) widok [L. 6]

Fig. 1. Friction pair of test stand STBL-02: a) scheme, b) view

Powierzchnie toczone wałeczków przed, w trakcie i po zakończeniu badań tribologicznych poddawano badaniom profilometrycznym, na profilometrze stykowym Carl Zeiss ME-10.

Warunki badań tribologicznych (przedstawione w **Tab. 1**) określono na podstawie wstępnych prób stanowiskowych, pomiarów parametrów struktury geometrycznej powierzchni współpracujących elementów łożysk oraz badań lepkości olejów smarujących przed i po zakończeniu badań zasadniczych. Do określania minimalnej grubości filmu olejowego, oddzielającego badany wałeczek i pierścienie łożyskowe, przyjęto zależność Dowsona-Higginsona [**L. 7–11**].

Tabela 1. Warunki badań tribologicznych

Table 1. Conditions of tribological research

Wyszczególnienie	I seria badawcza	II seria badawcza	III seria badawcza
Rodzaj oleju smarującego	Velol 9	Velol 9	Hipol GL-5 80W/140
Temperatura oleju	60°C	50°C	40°C
Prędkość obr. wału napęd.	500 obr./min	2200 obr./min	2200 obr./min
Zadawane obciążenie próbki	35 kN	35 kN	35 kN
Współczynnik λ	$\lambda < 0,6$	$0,6 \leq \lambda \leq 2,0$	$\lambda > 2,0$
Liczba badanych próbek	20 szt.	20 szt.	20 szt.

Na podstawie obliczonych wartości współczynnika grubości filmu olejowego λ przyjęto, iż w pierwszej serii badawczej występowało tarcie graniczne, w drugiej mieszane a w trzeciej płynne.

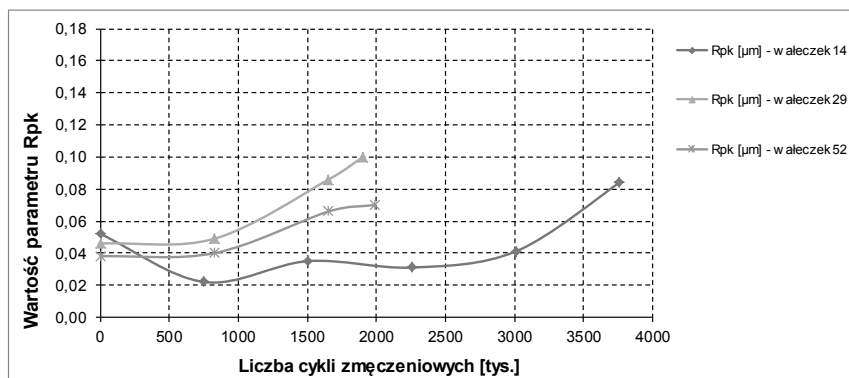
DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Badania tribologiczne prowadzono do wystąpienia na powierzchniach roboczych badanych elementów łożysk wykruszeń zmęczeniowych, co pozwoliło na wyznaczenie ich powierzchniowej trwałości zmęczeniowej. Stwierdzono, że wyniki badań trwałości dla wszystkich rozpatrywanych warunków smarowania podlegają trójparametrowemu rozkładowi Weibulla, a tym samym mają charakter odpowiadający doniesieniom literaturowym [**L. 12, 13**].

Uzyskane wyniki pomiarów parametrów struktury geometrycznej powierzchni toczone wałeczków należących do danej serii badawczej odznaczały się podobnym charakterem. Szczególną uwagę poświęcono wartościom związanym z krzywą udziału materiału R_{pk} oraz R_{vk} mającym potencjalnie największy wpływ na powierzchniową trwałość zmęczeniową elementów łożysk toczone. Przykładowe wyniki badań dla wybranych wałeczków przedstawiają wykresy na **Rys. 2** oraz **3**.

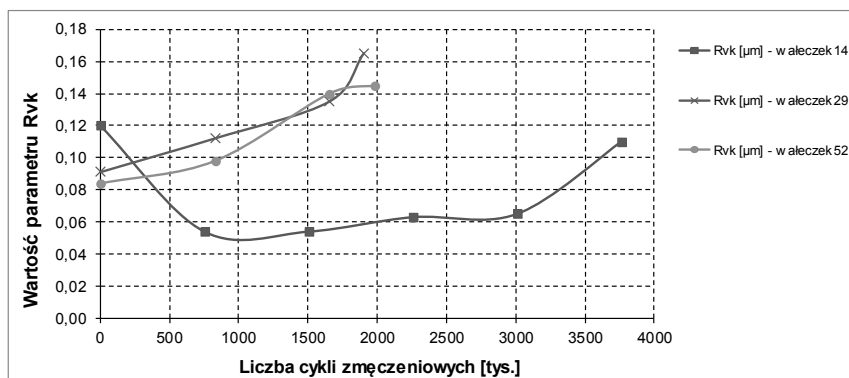
Zredukowana wysokość wzniesień R_{pk} określa średnią wysokość wzniesień wystających ponad profil rdzenia chropowatości i pozwala określić zachowanie podczas docierania powierzchni ślizgowych i toczone, co potwierdzają autorzy pracy [**L. 14**]. Parametr ten charakteryzuje wysokość górnej części profilu po-

wierzchni. Z kolei parametr R_{pk} o małej wartości wskazuje na dużą odporność na ścieranie. Natomiast zredukowana głębokość wgłębień R_{vk} to średnia głębokość wgłębień występujących poniżej profilu rdzenia chropowatości. Charakteryzuje ona głębokość dolnej części profilu chropowatości i określa zdolność utrzymywania oleju przez powierzchnię. Powierzchnie elementów tocznych lub ślizgowych wymagają relatywnie dużych wartości R_{vk} [L. 14]. Ponadto w pracy [L. 15] udowodniono znaczący wpływ parametru R_{vk} na powierzchniową trwałość zmęczeniową łożysk tocznych.



Rys. 2. Przebieg zmian wartości parametru R_{pk} dla powierzchni tocznych badanych wałeczków. Wałeczek 14 – ($\lambda < 0,6$), wałeczek 29 – ($0,6 \leq \lambda \leq 2,0$), wałeczek 52 – ($\lambda > 2,0$)

Fig. 3. Changes of parameter R_{pk} of the geometrical surface structure of tested rollers. Roller 14 – ($\lambda < 0.6$), roller 29 – ($0.6 \leq \lambda \leq 2.0$), roller 52 – ($\lambda > 2.0$)



Rys. 3. Przebieg zmian wartości parametru R_{vk} dla powierzchni tocznej badanych wałeczków. Wałeczek 14 – ($\lambda < 0,6$), wałeczek 29 – ($0,6 \leq \lambda \leq 2,0$), wałeczek 52 – ($\lambda > 2,0$)

Fig. 3. Changes of parameter R_{vk} of the geometrical surface structure of tested rollers. Roller 14 – ($\lambda < 0.6$), roller 29 – ($0.6 \leq \lambda \leq 2.0$), roller 52 – ($\lambda > 2.0$)

Analizując przebieg krzywych na wykresie przedstawionym na **Rys. 2** można sądzić, iż wartość poszczególnych parametrów dla wałeczków pracujących w warunkach tarcia mieszanego lub płynnego wzrastała wraz z liczbą cykli zmęczenia wykonanych przez dany wałeczek. Szczególnym przebiegiem wartości parametrów R_{pk} oraz R_{vk} odznaczał się wałeczek pracujący w warunkach tarcia granicznego. W początkowej fazie pracy następowało zmniejszanie wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni, następnie względna stabilizacja, a w końcowym okresie pracy wartości omawianych parametrów rosły. Prawdopodobną przyczyną takiego przebiegu zmian był fakt swoistego „docierania” wałeczka w początkowej fazie pracy. Wałeczek ten pracował w złych warunkach smarowania, w których występował kontakt metaliczny między wałeczkiem a pierścieniami w skojarzeniu. Podczas kontaktu nierówności następowało ścinanie wierzchołków, w efekcie czego wartość R_{pk} malała. Podobne zjawisko zachodziło w przypadku wgłębień profilu, które w początkowej fazie zmniejszały się najprawdopodobniej w wyniku konstytuowania się chropowatości równowagowej na powierzchniach wałeczka i pierścieni łożyskowych. Zatem zdolność utrzymania oleju przez powierzchnię również malała. Obserwacja wykresów na **Rys. 2** pozwala ponadto stwierdzić, iż po wykonaniu przez wałeczki ok. 0,7 mln cykli zmęczenia, niezależnie od warunków smarowania, wartość poszczególnych parametrów SGP rosła. Przyczynę wzrostu może powodować zwiększająca się degradacja powierzchni występującej w wyniku procesu zużywania.

PODSUMOWANIE

Rezultaty badań potwierdzają istnienie zależności między warunkami smarowania a charakterem zmian wybranych parametrów struktury geometrycznej powierzchni roboczych elementów łożysk tocznych. Wyniki analiz dowodzą, iż wałeczki pracujące w niesprzyjających warunkach smarowania odznaczały się ściętymi wierzchołkami nierówności w wyniku kontaktu metalicznego w skojarzeniu. Wartości zredukowanej wysokości wzniesień powierzchni dla wałeczków pracujących w warunkach tarcia płynnego kształtowały się na wysokim poziomie w stosunku do wałeczków pracujących w warunkach tarcia mieszanego bądź granicznego. Wobec powyższego można stwierdzić, iż struktura geometryczna powierzchni elementów łożysk ulega większym zmianom w przypadku niedostatecznego smarowania.

LITERATURA

1. Waligóra W., Libera M.: Rozważania o rozrzucie powierzchniowej trwałości zmęczeniowej w świetle aktualnych teorii. *Tribologia*, nr 4, 2009, s. 223–233.
2. Pawlus P.: *Topografia powierzchni: pomiar, analiza, oddziaływanie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
3. Whitehouse D.J.: Function maps and the role of surfaces. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 41, 2001, s. 1847–1861.

4. Xuesheng C., Qin Y., Balendra R.: Development of a statistical parameter-based surface model for the simulation of variation of surface roughness with contact pressure. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 145, 2004, s. 247–255.
5. Karpenko Y.A., Akay A.: A numerical model of friction between rough surfaces. *Tribology International*, Vol. 34, 2001, s. 531–545.
6. Bak M., Libera M.: Usability of stand for rolling contact fatigue life testing of roller bearings elements (Analiza możliwości stanowiska do badania powierzchniowej trwałości zmęczeniowej elementów tocznych łożysk walcowych). *Journal of research and applications in agricultural engineering*, Vol. 55, 2010, s. 6–10.
7. Dowson D.: Elastohydrodynamic and micro-elastohydrodynamic lubrication. *Wear*, Vol. 190, 1995, s. 125–138.
8. Espejel G.M.: Using a friction model as an engineering tool. *Evolution*, Vol. 2, 2006, s. 27–30.
9. Hamrock B.J., Dowson D.: Isothermal elastohydrodynamic lubrication of point contacts. Part I – theoretical formulation. NASA, TN D-8049, 1975.
10. Hamrock B.J., Dowson D.: Isothermal elastohydrodynamic lubrication of point contacts. Part II – ellipticity parameter results. NASA, TN D-8166, 1976.
11. Libera M., Piekoszewski W., Waligóra W.: Wpływ warunków pracy elementów poddawanych cyklicznym obciążeniom stykowym na rozrzut powierzchniowej trwałości zmęczeniowej. *Tribologia 2005*, nr 3, s. 205–215.
12. Libera M.: Mathematical model of surface fatigue life. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, nr 4, 2002, s. 57–62.
13. Waligóra W., Libera M.: Wybrane problemy trwałości zmęczeniowej łożysk tocznych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Budowa Maszyn i Zarządzanie*, nr 6, 2007, s. 151–164.
14. Gadelmawla E.S., Koura M.M., Maksoud T.M.A., Elewa I.M., Soliman H.H.: Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, 2002, s. 133–145.
15. Libera M.: Wpływ wybranych parametrów warstwy wierzchniej na powierzchniową trwałość zmęczeniową węzłów tocznych. *Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu*, 2001.

Summary

The paper considers the problem of surface layer change during work. The recent studies of changes in roughness structure of bearing elements surface are the result of work on the STBL-02 tester (where the friction pair is a model of a cylindrical roller bearings). The study was conducted on three groups of roller bearings, which worked in different conditions of lubrication. It was therefore considered an important influence of lubrication on the changes of the surface roughness parameters. Analysing the test results, it can be stated that, for the rollers working in conditions of fluid friction, the R_{vk} and R_{pk} parameters increase with time, and for the rollers working in boundary friction, the initial value of these parameters decreased in the formation of the equilibrium roughness.