

Janusz MUSIAŁ*

WYKORZYSTANIE WYBRANYCH PARAMETRÓW SGP DO OCENY POWIERZCHNI ROBOCZYCH ŁOŻYSK TOCZNYCH

APPLICATION OF SELECTED SGS PARAMETERS FOR EVALUATION OF ROLLING BEARING WORKING SURFACES

Słowa kluczowe:

struktura geometryczna powierzchni, łożysko toczne, zużywanie

Key words:

surface geometric structure, rolling bearing, wear process

Streszczenie

W artykule przedstawiono sposób oceny powierzchni, za pomocą zbioru wybranych parametrów opisujących strukturę geometryczną powierzchni. Wykorzystano w nim parametry wyznaczające geometryczne cechy wgłębień występujących w strukturze geometrycznej powierzchni robo-

* Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, tel. (052) 340-86-56, 0693716937, e-mail: jamusul@utp.edu.pl.

czych łożysk tocznych, zwłaszcza w końcowej fazie ich użytkowania. Wykorzystując specjalistyczną aparaturę pomiarową Talyscan, określono: powierzchnię, objętość, maksymalną oraz średnią wartość głębokości lub wysokości nierówności. Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych świadczą o tym, że za pomocą proponowanego zbioru parametrów możliwa jest obserwacja zmian, jakie zaszły w strukturze geometrycznej badanych powierzchni w wyniku procesu zużywania.

WPROWADZENIE

Rozszerzenie wiedzy o ukształtowaniu struktury geometrycznej powierzchni (SGP) oraz opracowanie i stosowanie nowych sposobów jej oceny (ilościowej i jakościowej) stało się możliwe m.in. dzięki precyzyjnej, wspomaganiej komputerowo aparaturze pomiarowej. Powstały nowe programowe możliwości analizy powierzchni w układzie przestrzennym (3D), co w połączeniu ze zwiększoną dokładnością narzędzi pomiarowych pozwala obserwować i mierzyć elementy SGP w skali nanometrycznej i opisać ją za pomocą wielu parametrów, nie tylko powierzchniowych, lecz także objętościowych, przestrzennych, hybrydowych oraz funkcjonalnych [L. 1, 5, 7, 8, 10].

W przypadku powierzchni o rozwiniętej rzeźbie, a więc takiej, w której występują duże mikronierówności (o dużej objętości), precyzyjne, lecz tradycyjnie stosowane parametry pomiaru (3D), tj.: Sa, St, Sq nie są w pełni przydatne do ilościowego opisu SGP.

Rozwój profilometrii skaningowej przyczynił się do zwiększenia możliwości pomiarowych, np. prowadzenia badań we wstępnej fazie procesu zużywania, kiedy wyniki otrzymane za pomocą innych metod są obciążone dużym błędem (np. metoda wagowa) [L. 6].

Analiza struktury geometrycznej powierzchni przy zastosowaniu profilometrii skaningowej dostarcza wiele informacji o rodzaju i charakterze zjawisk zachodzących w obszarze styku współpracujących powierzchni [L. 2]. Wykorzystywana jest także do oceny przydatności środków smarowych stosowanych w węzłach tribologicznych [L. 3].

W niniejszym opracowaniu przedstawiono sposób oceny powierzchni, w którym wykorzystano metodę pomiaru wgłębień i pików (wierzchołków), występujących w strukturze geometrycznej badanych powierzchni. Jest on szczególnie przydatny przy ocenie powierzchni o dużym stopniu destrukcji, w których takie elementy strukturalne występują.

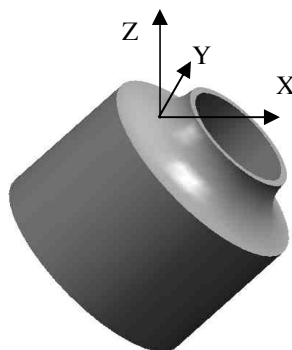
Wykorzystując specjalistyczną aparaturę pomiarową Talyscan 150 firmy Taylor-Hobson z zastosowaniem programu Mountains Map Universal, określono maksymalną oraz średnią wartość głębokości lub wysokości odpowiednio: wgłębień lub wierzchołków oraz ich powierzchnię i objętość.

OBIEKT I METODA BADAŃ

Jako obiekt badań przyjęto skośne łożysko kulkowe. Wybrano ten typ łożyska, gdyż, ze względu na postać konstrukcyjną i związaną z nią kinematyką jego elementów, duża jest intensywność zjawisk towarzyszących transformacji struktury geometrycznej powierzchni, co stwarza lepsze warunki obserwacji.

Ze względu na charakter obciążenia, kinematykę elementów łożyska i całą istotę jego działania w warunkach rzeczywistych w badanej tocznej parze kinematycznej, większe zmiany zachodzą na bieżni na pierścieniu wewnętrznym, dlatego też pomiary i obserwacje przeprowadzano na tym elemencie łożyska. Postać konstrukcyjną obiektu badań wraz z przyjętym układem współrzędnych przedstawiono na **Rysunku 1**. W badaniach założono, że początek układu współrzędnych znajduje się na okręgu, po którym toczy się kulka, oś Y jest styczną do nominalnego toru, po którym poruszają się elementy toczne, oś X – normalna do nominalnego toru, po którym poruszają się elementy toczne zaś oś Z – prostopadła do osi X i Y.

Obserwowano przebieg zmian na bieżni nieruchomego pierścienia wewnętrznego, w określonym miejscu, w którym kulka oddziałuje na



Rys. 1. Obiekt badań (w pierścieniu wewnętrznym łożyska) i przyjęty w badaniach układ współrzędnych

Fig 1. The tested object and coordinate system accepted for the tests

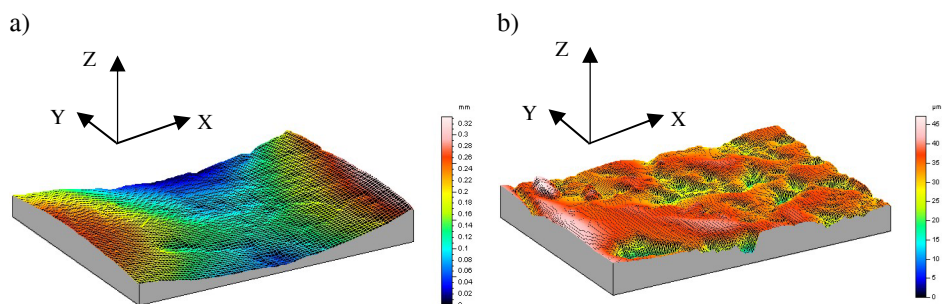
bieżnię ze zdefiniowaną siłą, dlatego też istotne było jednoznaczne zorientowanie tego pierścienia w przestrzeni badawczej [L. 4]. Jako czynnik eksploatacyjny wymuszający zmiany w SGP przyjęto amplitudę nacisków σ_{ψ} wywieranych przez kulki na bieżnię równą 887 MPa, przy współczynniku asymetrii cyklu obciążenia $R = 0$ (cykl odzerowotętniający). Wartość nacisków odpowiada obciążeniu łożyska w warunkach rzeczywistych, a została ona wyznaczona w przeprowadzonych badaniach eksploatacyjnych [L. 9].

Wyniki badań rejestrowano dla trzech wartości czasu τ :

- na początku badań, dla $\tau_1 = 0$ s,
- w okresie ustalonej intensywności zmian, $\tau_2 = 2,1 \cdot 10^5$ s,
- w końcowym okresie zdatności łożyska, $\tau_3 = 3,9 \cdot 10^5$ s.

Powyższe współrzędne przyjętych punktów pomiarowych wynikały z rezultatów kompleksowych badań łożysk tocznych tego typu opisanych w pracy [L. 9].

Ze względu na fakt, że badana była powierzchnia o zarysie krzywoliniowym (wkłęsło-wypukła), wyznaczono teoretyczną powierzchnię jej krzywizny, którą następnie odfiltrowano od powierzchni rzeczywistej otrzymując w ten sposób odwzorowanie obrazu na powierzchni płaskiej.



Rys. 2. Mikrogeometria badanej powierzchni: a) obraz mierzonej powierzchni, b) chropowatość powierzchni po odfiltrowaniu krzywoliniowej nominalnej powierzchni teoretycznej

Fig. 2. Microgeometry of the tested surface: image of the measured surface roughness of the surface after filtering the theoretical curvilinear, nominal surface

Obraz 3D mierzonej powierzchni przedstawiono na **Rysunku 2a**, natomiast powierzchnia po odfiltrowaniu krzywoliniowego zarysu powierzchni teoretycznej na **Rysunku 2b**.

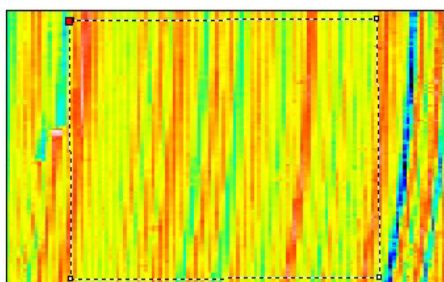
ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań zostały przedstawione poniżej w formie graficznej. Pomiarzy realizowano na powierzchni o wymiarach 2 mm x 2 mm. Do oceny badanych powierzchni wykorzystano wielkości opisujące elementarne fragmenty struktury geometrycznej powierzchni: wgłębienia i wzniesienia jakie na powierzchni występują. W analizie przedstawionej w niniejszej pracy nie uwzględniono parametrów standardowych, które były w badaniach wyznaczane, takich jak: Sa, St, Sq, Ssk, Sku, gdyż tradycyjnie stosowane parametry oceny powierzchni o nierównomiernym charakterze (duże zagłębienia i występy pojawiające się zwłaszcza na końcowym etapie jej eksploatacji) powodują znaczne zniekształcenia wyników pomiarów [L. 4].

Zbiór mierzonych i obliczanych wielkości składał się z następujących elementów:

- pole powierzchni, mm²,
- objętość zagłębień i występów, μm³,
- maksymalna wartość (odpowiednio: głębokości lub wysokości), μm,
- średnia wartość głębokości lub wysokości, μm.

Obraz badanej powierzchni dla czasu $\tau_1 = 0$ s, tzn. przed rozpoczęciem procesu eksploatacji, oraz wyniki pomiarów przyjętych wielkości przedstawiono na **Rysunku 3**. Na badanej powierzchni widoczne są ślady obróbki, zaś z porównania parametrów dla wgłębień oraz wzniesień wynika, że wartości są tego samego rzędu. Świadczy to o tym, że początkowa struktura powierzchni bezpośrednio zależy od parametrów obróbki wykończeniowej tego elementu łożyska oraz od geometrii ostrza narzędzia, za pomocą którego tę obróbkę realizowano.



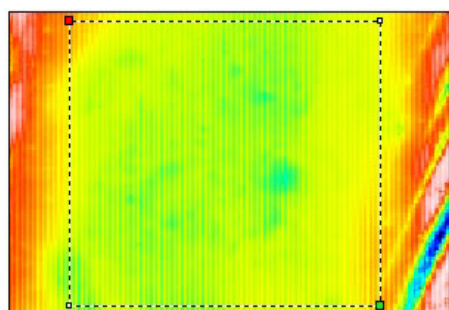
	wgłębienie	wzniesienie
powierzchnia [mm ²]	0,67	0,342
objętość [μm ³]	484262	190407
max. wartość [μm]	2,44	2,47
średnia wartość [μm]	0,723	0,557

Rys. 3. Wyniki pomiarów dla $\tau_1 = 0$ s

Fig. 3. The results of measurements for $\tau_1 = 0$ s

Następnie łożyska z pierścieniami wewnętrznymi eksploatowano przez czas $\tau_2 = 2,1 \cdot 10^5$ s. Obraz powierzchni oraz wyniki pomiarów po tym czasie zostały przedstawione na **Rysunku 4**.

Na podstawie wyników tego fragmentu badań można stwierdzić, że wartość parametrów dla wgłębień wzrosła, a dla wzniesień zmalała. Spowodowane jest to tym, że toczenie się obciążonych kulek po bieżni spowodowało wyrównanie badanej powierzchni na skutek trwałych odkształceń plastycznych.



	wgłębienie	wzniesienie
powierzchnia [mm ²]	1,17	0,206
objętość [μm ³]	1252306	91753
max. wartość [μm]	3,49	1,61
średnia wartość [μm]	1,07	0,445

Rys. 4. Wyniki pomiarów dla $\tau_2 = 2,1 \cdot 10^5$ s

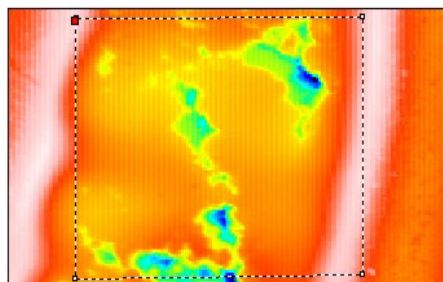
Fig. 4. The results of measurements for $\tau_2 = 2,1 \cdot 10^5$ s

Na tym etapie procesu eksploatacji nie stwierdzono jeszcze wyraźnych oznak zużycia. Widoczne są jedynie nieznaczne skutki zużywania, które można zaliczyć do ubytków w wyniku ścierania spowodowanego obecnością twardych produktów zużywania w smarze. Nie stanowią one jeszcze podstawy do uznania obserwowanego elementu jako niezdatnego do dalszego użytkowania.

W badaniach przyjęto, że łożyska toczne zostaną poddane pomiarom dla trzech czasów: na początku eksploatacji, w okresie ustalonej intensywności zmian oraz w końcowym okresie zdatności łożyska. Wartości wielkości stanowiących podstawę oceny badanych powierzchni próbek w ostatnim okresie, dla czasu $\tau_3 = 3,9 \cdot 10^5$ s, zostały przedstawione na **Rysunku 5**.

Znacznie większe zużycie obserwowane na powierzchniach przejawiało się w następujących formach:

- ubytków materiałów w rezultacie zużywania ściernego,
- odkształceń plastycznych,
- pittingu.



	wgłębienie	wzniesienie
powierzchnia [mm ²]	1,18	0,094
objętość [μm ³]	7651355	133871
max. wartość [μm]	35,0	5,22
średnia wartość [μm]	6,5	1,43

Rys. 5. Wyniki pomiarów dla $\tau_3 = 3,9 \cdot 10^5$ s

Fig. 5. The results of measurements for $\tau_3 = 3,9 \cdot 10^5$ s

Porównując wartości parametrów wyznaczonych dla poszczególnych czasów, stwierdzić należy, że wraz ze wzrostem czasu eksploatacji badanych próbek wzrasta maksymalna głębokość występujących w strukturze wgłębień – od ok. 40% po czasie τ_2 do 1300% po czasie τ_3 . Dzieje się tak przy niewiele zmieniającej się w przedziale czasu $\langle \tau_2, \tau_3 \rangle$ ich powierzchni. Świadczy to o postępującej destrukcji powierzchni powodowanej oddziaływaniem zewnętrznych wymuszeń siłowych podczas eksploatacji.

Łączna objętość wgłębień po pierwszym okresie eksploatacji, a więc dla czasu τ_2 wzrasta 1,5-krotnie, a po czasie τ_3 prawie 15-krotnie, co stanowi potwierdzenie progresywnej intensywności wspomnianej destrukcji.

Inna sytuacja występuje w przypadku wzniesień. Ich maksymalna wysokość początkowo maleje (o ok. 35%), a następnie rośnie (o ponad 110%) w stosunku do wartości początkowej. Powierzchnia wzniesień w tym czasie zmniejsza się o ponad 70%. Taka zmiana świadczy o stopniowym wygładzaniu powierzchni, m.in. w wyniku wielokrotnego przetaczania się po niej obciążonych elementów tocznych.

Objętość wzniesień w analizowanym czasie także maleje, lecz tylko o około 30%. Tę obserwację trudno jednoznacznie uzasadnić, lecz można przypuszczać, że w wyniku przetaczania się kulek po powierzchni bieżni następuje proces, który można porównać do spęczania mikronierówności.

Fotografie (**Rys. 3, 4 i 5**), mimo że monochromatyczne, pozwalają zaobserwować zmiany jakościowe zachodzące na powierzchni bieżni łożyska, potwierdzone ilościowo za pomocą przyjętych do oceny wielkości.

PODSUMOWANIE

Występujące w warstwach powierzchniowych mikronierówności są wynikiem przyjętej techniki wytwarzania lub/oraz zachodzącego procesu zużywania. Należy zauważyć, że powierzchnia z występującymi w jej strukturze dużymi zagłębieniami niekoniecznie musi być dyskwalifikowana. Ubytki materiału i powstałe w ich wyniku zagłębienia mogą bowiem mieć oddziaływanie dychotomiczne. Z jednej strony, jako nieciągłości struktury stanowią one potencjalne miejsca inicjacji pęknięć zmęczeniowych, z drugiej zaś – ich objętość może stanowić lokalny magazyn smaru poprawiając w ten sposób współpracę powierzchni.

Podsumowując, można zatem stwierdzić, że sposób oceny przy wykorzystaniu prezentowanych parametrów stanowi uzupełnienie metod oceny struktury geometrycznej powierzchni elementów maszyn, a więc i całych obiektów technicznych.

Stosując proponowaną metodę możliwe jest opisanie zmian, jakie zaszły w strukturze geometrycznej badanych powierzchni podczas procesu zużywania, a więc przedstawić jej bieżący stan. Przyjęte do opisu parametry są szczególnie przydatne, w przypadku gdy w strukturze geometrycznej powierzchni znajdują się duże zagłębienia lub występy pojawiające się zazwyczaj w zaawansowanej fazie użytkowania łożysk. Przy tradycyjnie stosowanych parametrach do oceny takiej rozwiniętej struktury wyniki pomiarów mogą spowodować znaczne zniekształcenie uzyskanego obrazu.

LITERATURA

1. Blunt L., Jiang X.: *Advanced Techniques for Assessment of Surface Topography*. Kogan Page, London 2003.
2. Hutchings I. M.: *Friction and Wear of Engineering Materials*. Tribology, University of Cambridge, 2003.
3. Klimczak T.: Zastosowanie profilometrii skaningowej do pomiaru objętości ubytków materiału spowodowanych zużyciem. *Materiały III Międzynarodowego Sympozjum INSYCONT*, Kraków 1990, s. 433–442.
4. Musiał J.: *Badania wpływu wybranych obciążeń zewnętrznych na zmiany geometrii powierzchni roboczych łożysk tocznych*. Praca doktorska, Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 2003.
5. Nowicki B.: Zaawansowane metody opisu i pomiarów struktury geometrycznej powierzchni. *Mechanik* nr 1/2007, s. 36–41.

6. Nyc R., Szudrowicz M.: Zastosowanie profilometrii skaningowej do analizy śladów zużycia kulek z aparatu czterokulowego. Materiały XXIII Jesiennej Szkoły Tribologicznej, Zielona Góra 1999, s. 171–176.
7. Oczóś E. K., Liubimov V.: Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.
8. Stout K. J. et al.: The Development of Characterization of Roughness in 3D. University of Huddersfield, Penton Press 2000.
9. Styp-Rekowski M.: Znaczenie cech konstrukcyjnych dla trwałości skośnych łożysk kulkowych. Wydawnictwo Uczelniane ATR, seria Rozprawy, nr 103, Bydgoszcz 2001.
10. Thomas T. R.: Rough Surfaces. Longman, New York 1982.

Recenzent:
Jarosław SEP

Summary

In the article there has been presented a method of evaluation of surfaces by means of a set of selected parameters which determine geometric features of concaves, occurring in the geometric structure of rolling bearing working surfaces, especially in the final phase of their operation. Using a specialist measurement equipment Talyscan, it was defined: the volume surface, maximum and medium value of the unevenness depth or height. The results of carried out tests reveal that it is possible to observe changes that occur in the geometric structure of the tested surfaces in the process of their wear, by means of the set of the proposed parameters.

