

Andrzej MISZCZAK*, **Krzysztof WIERZCHOLSKI****

ANALIZA TOPOGRAFII POWIERZCHNI PANEWEK MIKROŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH Z MIKROWKAMI

SURFACE TOPOGRAPHY ANALYSIS OF SLEEVES WITH MICRO-GROOVES OF SLIDE MICRO-BEARINGS

Słowa kluczowe:

mikrołożyska ślizgowe, mikrowki na powierzchni panewki, topografia powierzchni, mikroskop sił atomowych, profilometr

Key words:

slide micro-bearings, micro-grooves on the sleeve surface, surface topography, atomic force microscope, profilometer

Streszczenie

W niniejszej pracy autorzy przedstawili topografię powierzchni panewek mikrołożysk ślizgowych z mikrowkami zmierzonymi za pomocą mikroskopu sił atomowych (NT-206 produkowanego w MTM na Białorusi) i profilometru (T8000-R60 firmy Hommeltester). Wyniki pomiarów topografii powierzchni

* Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny, ul. Morska 81/87, 81-225 Gdynia, e-mail: miszczak@wm.am.gdynia.pl.

** Politechnika Koszalińska, Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Techniki Próżniowej, ul. Raławicka 15/17, 75-620 Koszalin, e-mail: krzysztof.wierzcholski@wp.pl.

przedstawiono w formie dwu- i trójwymiarowych wykresów oraz przekrojów badanej powierzchni.

Topografię powierzchni wykonano dla panewek mikrołożysk ślizgowych stosowanych w 2,5" HDD Samsung HM160HI – 5400 obr/min, 3.5" HDD Seagate Barracuda 7200.10 ST380815AS – 7200 obr/min oraz wentylatorze komputerowym Kama Flow SP0825FDB12H.

Rozpatrywane mikrołożyska eksploatowane były przez rok na nominalnych prędkościach obrotowych w dwóch trybach pracy. Pierwszy tryb pracy charakteryzował się pracą ciągłą (tj. 24 godziny). Drugi tryb pracy to tryb przerywany, czyli 15 minut urządzenie było włączone i 15 minut wyłączone.

Dzięki wynikom uzyskanym za pomocą profilometru określono wielkość, kształt i rozmieszczenie mikrorowków. Wyniki otrzymane na mikroskopie sił atomowych posłużyły do oceny chropowatości powierzchni w skali mikro- i manometrycznej oraz zużycia powierzchni ślizgowych.

WPROWADZENIE

Wartości chropowatości powierzchni czopa i panewki mikrołożyska ślizgowego mają istotny wpływ na wartość wysokości filmu olejowego. W równaniu Reynoldsa wysokość filmu olejowego występuje w trzeciej potęgze, dlatego zmiana tej wysokości silnie wpływa na zmiany parametrów przepływowych i operacyjnych łożyska ślizgowego. Wpływ chropowatości na wysokość szczeliny smarnej jest szczególnie istotny w łożyskach ślizgowych o małych średnicach czopa, np. od 1mm do 50 mm. Najczęstszym sposobem uwzględnienia chropowatości powierzchni na zmianę parametrów przepływowych i eksploatacyjnych jest metoda stochastyczna [L. 1–4].

Metoda ta polega na wyznaczaniu operatora nadziei matematycznej z funkcji ciśnienia i wysokości szczeliny smarnej w równaniu Reynoldsa [L. 3, 4]. Aby można było to wykonać musimy znać stochastyczne zmiany wysokości szczeliny smarnej oraz funkcję gęstości prawdopodobieństwa. Funkcję tę można ustalić na podstawie topografii powierzchni i rozkładu wysokości chropowatości powierzchni ślizgowej [L. 1, 2, 4]. Na podstawie badań doświadczalnych można stwierdzić, że funkcją gęstości prawdopodobieństwa nie jest symetryczną funkcją Gaussa, lecz na ogół jest niesymetryczna. Oznacza to, że prawdopodobieństwo wzrostu wysokości szczeliny nie jest równe prawdopodobieństwu jej spadków.

Innym czynnikiem, który ma wpływ na zmiany parametrów przepływowych i operacyjnych w szczelinie smarnej łożyska ślizgowego, są mikrorowki znajdujące się na powierzchni ślizgowej czopa lub panewki [L. 5–8]. Mikrorowki na powierzchni panewki mają najczęściej kształt jodełek [L. 5, 6].

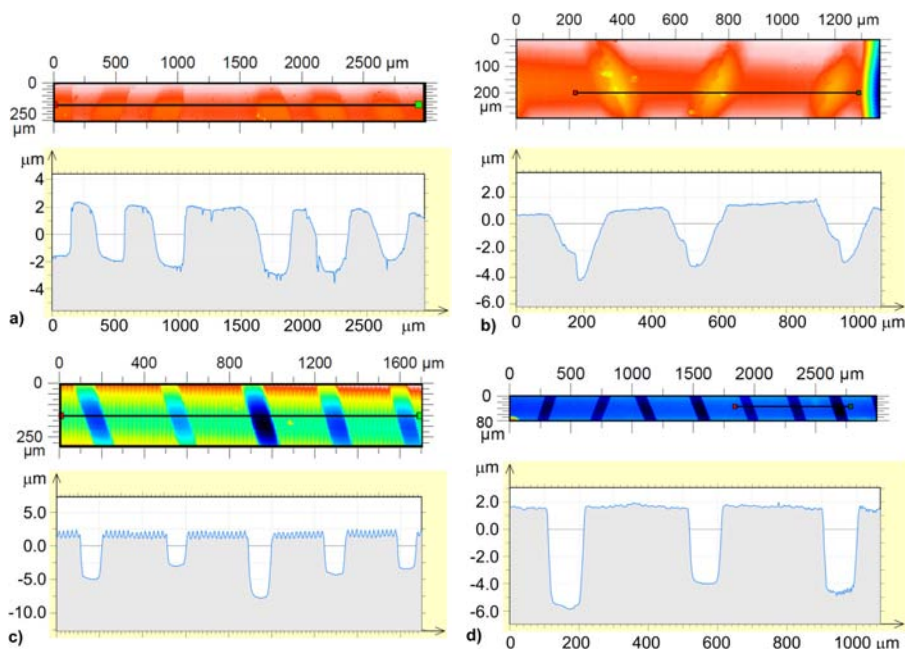
Celem niniejszej pracy jest dokonanie analizy topografii powierzchni panewek z mikrorowkami oraz określenie kształtu i wielkości mikrorowków

w mikrołożysku ślizgowym stosowanym w napędach HDD i wentylatorach komputerowych.

POMIAR TOPOGRAFII POWIERZCHNI

Topografię powierzchni w skali makro wykonano z wykorzystaniem profilometru T8000-R60 firmy Hommeltester. Pomiaru dokonano na próbce o długości od 1,2 mm do 4 mm i szerokości od 80 μm do 300 μm . Wyniki tych pomiarów zamieszczono na **Rys. 1**, w postaci widoków 2D oraz przekrojów przez wybrany obszar. Analizując wielkość i kształt mikrorowków pokazanych na **Rys. 1** można uzyskać następujące informacje:

- kąt pochylenia mikrorowków mieści się w przedziale od 70 do 75°;
- kształt mikrorowków przybiera postać trójkątny lub zbliżony do prostokątnego;
- wielkość mikrorowków mieści się w przedziale od 90 μm do 100 μm dla panewki wentylatora Kama Flow (**Rys. 1c, 1d**) oraz od 165 μm do 180 μm dla 2,5" HDD Samsung HM160HI (**Rys. 1b**), jak również od 230 μm do 250 μm dla 3,5" HDD Seagate Barracuda (**Rys. 1a**);



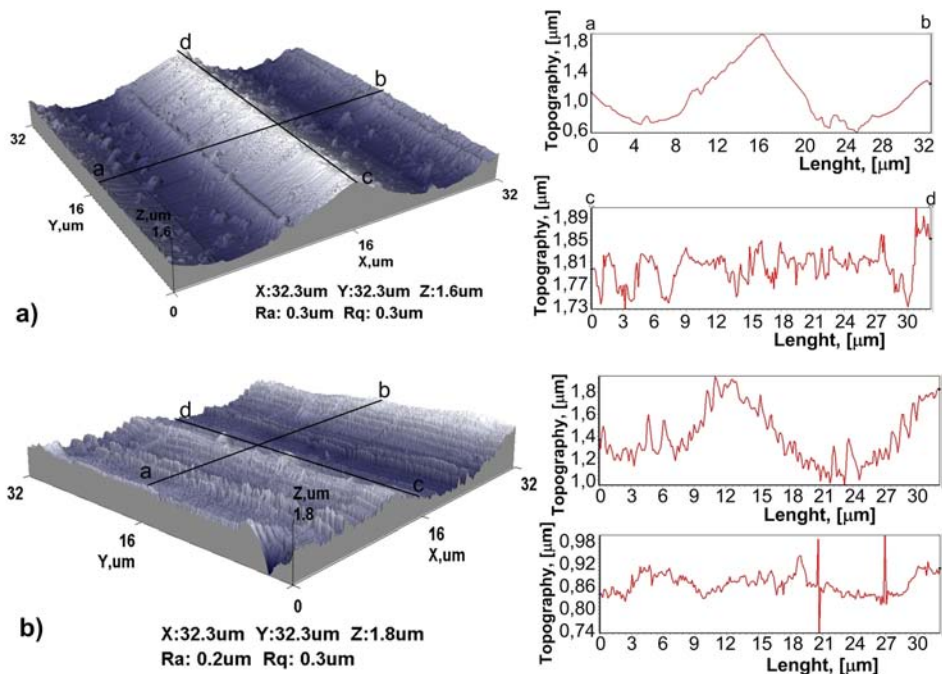
Rys. 1. Kształt i profile mikrorowków: a) HDD Seagate Barracuda, b) HDD Samsung HM160HI, c) wentylator (praca ciągła), d) wentylator (praca przerywana)

Fig. 1. The shape and microgrooves profiles: a) HDD Seagate Barracuda, b) HDD Samsung HM160HI, c) computer fan (continuous mode), d) computer fan (intermittent mode)

d) odległości pomiędzy mikrorówkami są różne dla różnych mikrołożysk i mieszczą się w przedziałach: 250–320 μm dla wentylatora Kama Flow (**Rys. 1c, 1d**), 200–250 μm dla 3,5" HDD Seagate Barracuda (**Rys. 1a**), 275–295 μm dla 2,5 HDD Samsung HM160HI.

Pomiar chropowatości powierzchni w mikro- i nanoskali dokonano mikroskopem sił atomowych NT-206 produkowanym w MTM na Białorusi. Tego typu mikroskop ma możliwość skanowania powierzchni o maksymalnych wymiarach 32 $\mu\text{m} \times 32 \mu\text{m}$ przy rozdzielczości 256 \times 256 punktów. Pomiar wykonano w trybie statycznym (kontaktowym). Maksymalna wysokość nierówności, jaką można zmierzyć na tym mikroskopie, to $\pm 1 \mu\text{m}$.

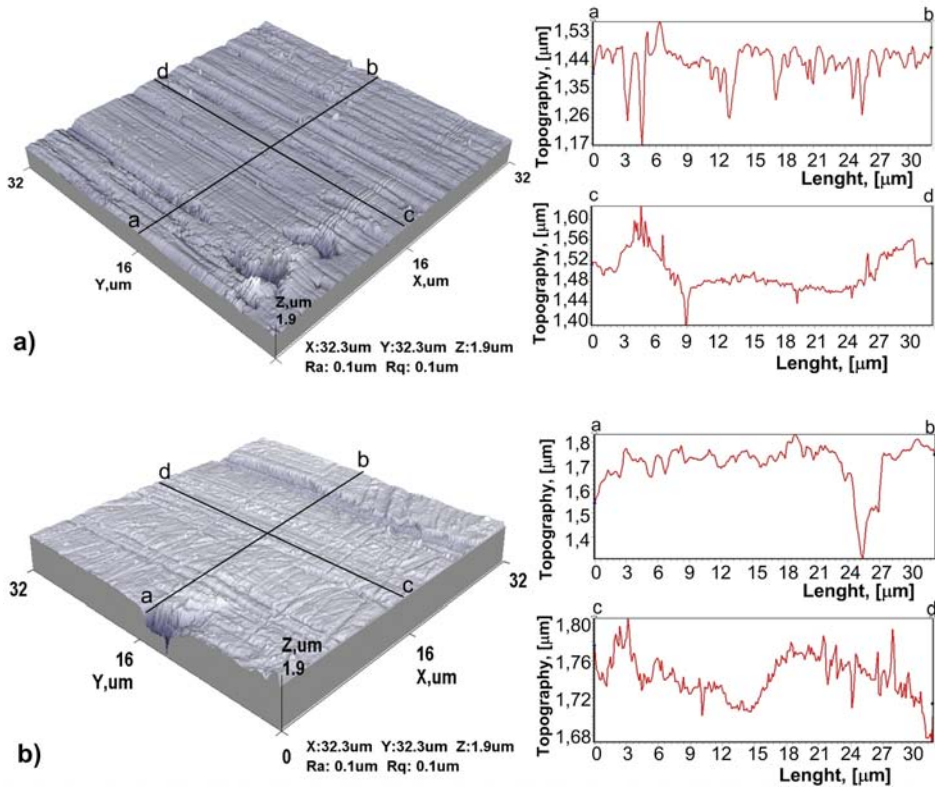
Topografię powierzchni panewki mikrołożyska ślizgowego stosowanego w komputerowym wentylatorze Kama Flow SP0825FDB12H przedstawiono na **Rys. 2**. Widok 3D oraz przekroje dla mikrołożyska pracującego w trybie pracy ciągłej zaprezentowano na **Rys. 2a**, natomiast topografię powierzchni panewki eksploatowanej w trybie pracy przerywanej pokazano na **Rys. 2b**.



Rys. 2. Topografia powierzchni panewki mikrołożyska stosowanego w komputerowym wentylatorze Kama Flow SP0825FDB12H: a) tryb pracy ciągłej, b) tryb pracy przerywanej

Fig. 2. Surface topography of the slide journal micro-bearing sleeve applied in computer fan Kama Flow SP0825FDB12H: a) after continuous mode operation, b) after intermittent mode operation

Widoki 3D oraz przekroje powierzchni panewki mikrołożyska ślizgowego stosowanego w 2,5" HDD Samsung HM160 przedstawiono na **Rys. 3**. Topografie powierzchni panewek mikrołożyska pracującego w trybie pracy ciągłej przedstawiono na **Rys. 3a**, natomiast pracującego w trybie pracy przerywanej na **Rys. 3b**.



Rys. 3. Topografia powierzchni panewki mikrołożyska stosowanego w 2,5" HDD Samsung HM160: a) tryb pracy ciągłej, b) tryb pracy przerywanej

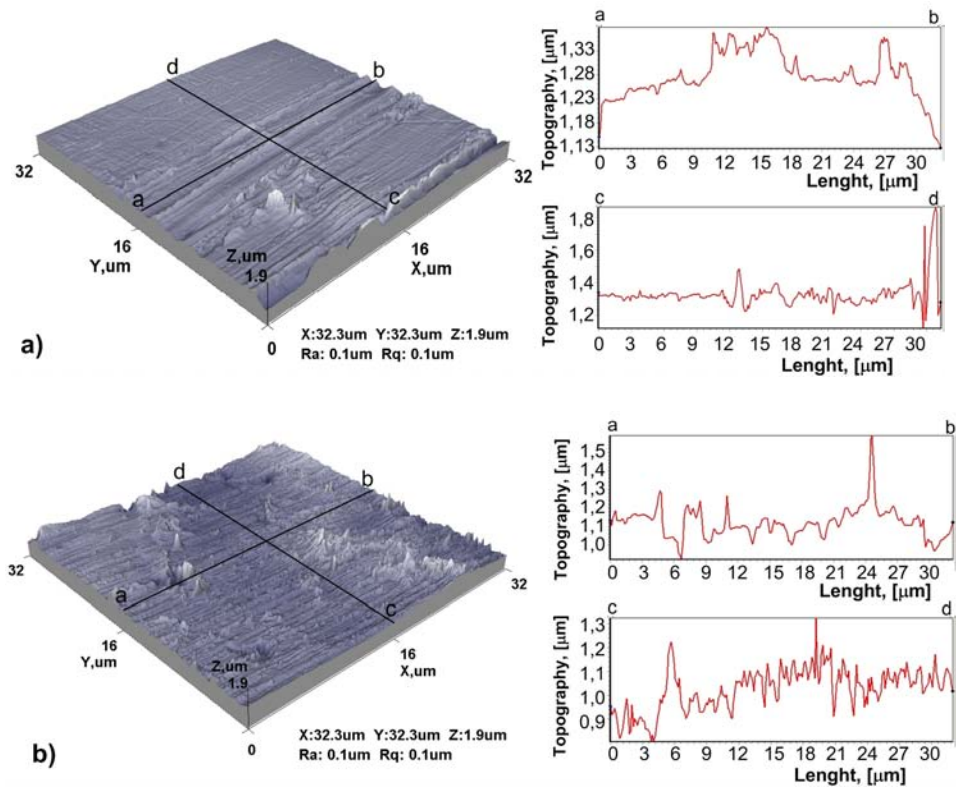
Fig. 3. Surface topography of the slide journal bearing sleeve used in 2.5" HDD Samsung HM160: a) after continuous mode operation, b) after intermittent mode operation

Topografię powierzchni panewki mikrołożyska ślizgowego stosowanego w 3,5" HDD Seagate Barracuda 7200.10 ST380815AS przedstawiono na **Rys. 4**. Widok 3D oraz przekroje dla mikrołożyska pracującego w trybie pracy ciągłej zaprezentowano na **Rys. 4a**, natomiast topografię powierzchni panewki eksploatowanej w trybie pracy przerywanej pokazano na **Rys. 4b**.

Na **Rys. 2** widoczne są ślady ostrza po obróbce skrawaniem. Szerokość śladu osiąga wartość około 19 μm , natomiast głębokość około 1,4 μm – tryb

pracy ciągłej i około $0,8 \mu\text{m}$ – tryb pracy przerywanej. Panewka pracująca w trybie przerywanym ma widoczne znaczne zużycie powierzchni w postaci nanorys i mikrowgłębień.

Powierzchnie panewek dysków twardych przedstawione na **Rys. 3** i **4** mają liczne równoległe nanorysy oraz mikrowgłębienia. Wielkość wgłębień sięga nawet $2 \mu\text{m}$. Porównując topografię powierzchni panewek eksploatowanych i nowych [**L. 9**] można zauważyć większe wartości chropowatości powierzchni oraz głębsze nanorysy i mikrowgłębienia na powierzchniach panewek eksploatowanych.



Rys. 4. Topografia powierzchni panewki mikrołożyska stosowanego w 3,5" HDD Seagate Barracuda ST380815AS: a) tryb pracy ciągłej, b) tryb pracy przerywanej

Fig. 4. Surface topography of the slide journal micro-bearing sleeve used in 3.5" HDD Seagate Barracuda ST380815AS: a) after continuous mode operation, b) after intermittent mode operation

WNIOSKI I SPOSTRZEŻENIA

1. Otrzymane parametry mikrorowków posłużą do symulacji obliczeń numerycznych rozkładu ciśnienia hydrodynamicznego w szczelinie smarnej mikrołożyska z mikrorowkami.
2. Chropowatość i zużycie powierzchni panewek eksploatowanych jest większa niż chropowatość powierzchni panewek nowych.
3. Tryb pracy przerywanej powoduje większe zużycie powierzchni w wyniku częstszej pracy w zakresie tarcia granicznego w porównaniu z zużyciem uzyskanym w wyniku pracy ciągłej.
4. Wiedza na temat topografii powierzchni panewek i czopów może być wykorzystana do uwzględniania wysokości nierówności powierzchni panewki i czopa na zmianę wysokości szczeliny smarnej, a co za tym idzie na zmianę parametrów przepływowych i eksploatacyjnych łożysk ślizgowych.
5. Coraz powszechniejsze jest stosowanie mikrorowków w celu poprawy warunków smarowania oraz miejsca do gromadzenia się zanieczyszczeń. Oprócz mikrołożysk w HDD czy wentylatorach komputerowych, również w klasycznych panewkach, np. stosowanych w silnikach samochodowych, stosuje się obecnie mikrorowki ukształtowane równolegle do siebie i prostopadle do osi panewki.

LITERATURA

1. Andharia P.I., Deheri G.M., Gupta J.L.: Effect of Longitudinal surface Roughness on the Behaviour of Squeeze Film in a Spherical Bearing, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 6, No. 4, 2001, pp. 885–897.
2. Gururajan, K., Prakash, J.: Surface Roughness Effects in Infinitely Long Porous Journal Bearings. *Transactions of the ASME, Journal of Tribology*, Vol. 121, 1999, pp. 139–147.
3. Miszczak A.: Analiza hydrodynamicznego smarowania ferrocieczą poprzecznych łożysk ślizgowych, Monografia, Fundacja Rozwoju Akademii Morskiej, Gdynia 2006.
4. Wierzcholski K., Miszczak A.: Load carrying capacity of microbearing with parabolic journal, *Solid State Phenomena*, Trans Tech Publications, Vol. 147–149, Switzerland, UK, USA 2009, pp. 542–547.
5. Jang G.H., Lee S.H., Kim H.W., Kim C.S.: Dynamic analysis of a HDD spindle system with FDBs due to the bearing width and asymmetric grooves of journal bearing, *Microsystems Technologies*, 11, 2005, pp. 499–505.
6. Jang G.H., Seo C.H., Ho Scong Lee: Finite element model analysis of an HDD considering the flexibility of spinning disc-spindle, head-suspension-actuator and supporting structure, *Microsystem Technologies*, 13, 2007, pp. 837–847.
7. Asada T., Saito H., Asaida Y., Itoh K.: Design of hydrodynamic bearing for high-speed HDD. *Microsystem Technologies*, 8, 2002, pp. 220–226.

8. Wierzcholski K, Miszczak A., Khudoley A.: Characterization of nano-grooved superficial layer of computer microbearings, *Tribologia*, 6, Radom 2011, pp. 257–267.
9. Czaban A., Miszczak A.: Surface Topography on Non-Operated Slide Journal Micro-Bearings, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 18, No. 2, 2011, pp. 109–115.

Summary

This paper presents the sleeve surface topography containing microgrooves measured by virtue of Atomic Force Microscopy NT-206 constructed in MTM Belarus, and a T8000-R60 Hommeltester profile measurement gauge.

The topography was generated in 2D and 3D charts for the cross-sections of the considered surface sample.

The topography was developed for slide micro-bearing sleeve applied in 2.5" HDD Samsung HM160HI – 5400rpm, 3.5" HDD Seagate Barracuda 7200.10 ST380815AS – 7200 RPM and in computer ventilator Kama Flow SP0825FDB12H.

The micro-bearings were exploited for one year at nominal rotational speed for two cases. The first case included continuous operation of 24 hours per day. The second case included interrupted operation, e.g. 15 minutes on and 15 minutes off.

By virtue of the results obtained using profile measurement gauge, we can record the quantities, shapes, and location of microgrooves.

Moreover, the results obtained using AFM were helpful for roughness assessment and wear surface evaluation.