Krzysztof WIERZCHOLSKI[*], Andrzej MISZCZAK[**], Andrei KHUDOLEY[***]

CHARAKTERYSTYKA ROWKOWANEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ MIKROŁOŻYSK KOMPUTERA

CHARACTERIZATION OF NANO-GROOVED SUPERFICIAL LAYER OF COMPUTER MICROBEARINGS

Słowa kluczowe:

warstwa wierzchnia, mikrołożyska, HDD, wentylator komputerowy, pomiary, własności materiału

Key words:

superficial layer, microbearing, HDD, computer ventilator, measurements, material properties

[*] Politechnika Koszalińska, Instytut Mechatroniki, Nanotechnologii i Technologii Próżniowej, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin,
e-mail: krzysztof.wierzcholski@wp.pl.

[**] Akademia Morska w Gdyni, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia,
e-mail: miszczak@am.gdynia.pl.

[***] Instytut Ciepła i Przepływu Masy Narodowej Akademii Nauk Białorusi, Mińsk,
e-mail: khudoley@yahoo.com.

Streszczenie

W niniejszej pracy został przedstawiony pomiar własności materiału warstwy wierzchniej czopa i panewki nieeksploatowanych współpracujących powierzchni mikrołożyska występujących w komputerowym wentylatorze Kama Flow SP0825FDB12H 80 mm, w komputerowym wentylatorze Xilence Case Fan 92 mm, oraz w HDD 2,5" Samsung HM 160 HI 5400 rpm, a także w HDD 3,5" Seagate Barakuda 7200.10 ST380815AS, 7200 rpm.

Nacięcia punktów podczas pomiarów modułu sprężystości Younga warstwy wierzchniej materiału zostały wykonane z użyciem statycznej spektroskopii sił na mikroskopie sił atomowych.

Ponadto zaprezentowane zostały badania mikrotwardości dla powierzchni czopa i panewek z wykorzystaniem mikrotwardościomierza Vickersa PMT-3M-LOMO-Russia przystosowanego do takich badań.

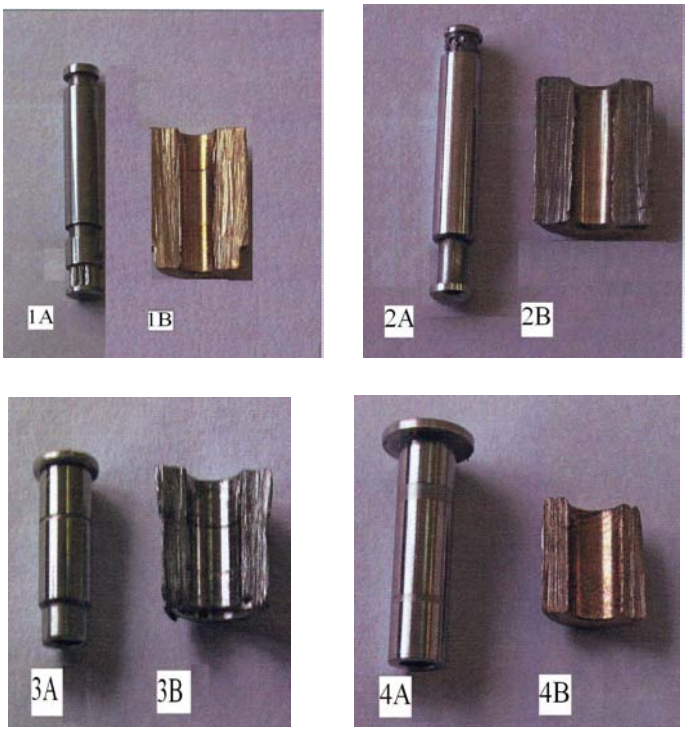
Przeprowadzone badania koncentrują się na pomiarach wykonanych na Skaningowym Elektronowym Mikroskopie oraz na analizie Mikro-X--Promieni, wykorzystując przyrząd Mira TESCAN INCA, ilustrujący obrazy powierzchni roboczych czopa i panewki systemem mikroskopowym, a także rejestrując trójwymiarowy test chropowatości powierzchni i profili przekrojów poprzecznych.

Zbadane zmiany wartości modułu sprężystości po kierunku grubości warstwy wierzchniej uwidaczniają zmiany modułu sprężystości materiału leżącego na powierzchni nanorowków i nanożeberek, którymi pokryte są powierzchnie łożyskowe. W super cienkich szczelinach mikrołożysk o wysokościach mniejszych od 1 mikrometra lepkość dynamiczna oleju warstwy przyściennej zależy od modułu sprężystości materiału łożyskowego bezpośrednio przylegającego do warstwy smarującej. Dlatego zmienia się lepkość dynamiczna oleju wokół nanorowków i nanożeberek. Takie zmiany lepkości wpływają korzystnie na pracę mikrołożysk.

Według informacji autorów, zaledwie od 5 lat producenci twardych dysków komputerowych montują na szerszą skalę mikrołożyska o powierzchniach pokrytych nanorowkami i nanożeberkami. Niniejsze badania mają na celu uzyskanie wyników doświadczalnych, aby na tej podstawie dokonać numerycznego ustalenia optymalnej geometrii rowków i żeberek na powierzchniach roboczych czopów i panewek pod kątem niezawodności oraz optymalnego sterowania pracą mikrołożyska.

WPROWADZENIE

W niniejszej pracy przeprowadzono badania pomiaru własności tribologicznych materiału warstwy wierzchniej na czopie i na panewce mikrołożysk ślizgowych wentylatorów komputerowych oraz dysków komputerowych (HDD). Zarówno wentylatory, jak i HDD nie były eksploatowane



Rys. 1. Widok niezużytych powierzchni czopa A i panewki B z nanożeberkami i rowkami w cylindrycznym mikrołożysku ślizgowym, przy czym ilustracja 1A, 1B dotyczy wentylatorka komputerowego Kama Flow; zdjęcie 2A, 2B dotyczy wentylatorka komputerowego Xilence Case Fan; zdjęcie 3A, 3B dotyczy łożyska w komputerowym dysku twardym 2,5" Samsung HM 160 HI; zdjęcie 4A, 4B dotyczy łożyska w komputerowym dysku twardym 3,5" Seagate Barakuda, 7200.10 ST 380815AS

Fig. 1. A view of a new non damaged journal A and sleeve B surfaces with nano grooves and ridges in cylindrical sidle bearing in: 1A,1B – computer ventilator Kama Flow; 2A, 2B – computer ventilator Xilence Case Fan; 3A, 3B – HDD 2.5" Samsung HM 160 HI; 4A, 4B – HDD 3.5" Seagate Barakuda 7200.10 ST 380815AS

(niezużyte). Według informacji autorów, takie badania dla mikrołożysk ślizgowych mają szczególne znaczenie z powodu zależności, jakie zachodzą pomiędzy własnościami mechanicznymi warstwy wierzchniej zalegającej na czopie i na panewce oraz lepkością dynamiczną czynnika smarującego w supercienkiej warstewce filmu olejowego o grubości poniżej jednego mikrometra **[L. 1–3]**. W literaturze fachowej badania takie nie były do tej pory przeprowadzone [**L. 1, 4–5]**. Niniejsze badania doświadczalne dotyczą pomiarów czopów A i panewek B w mikrołożyskach występujących kolejno w: wentylatorze komputerowym Kama Flow SP0825FDB12H 80 mm, wentylatorze Xilence Case Fan 92 mm, mikrołożysku HDD 2,5" Samsung HM 160 HI 5400 rpm i mikrołożyska HDD 3,5" Seagate Barakuda 7200.10 ST 380815 AS 7200 rpm.

Średnice czopów sięgają około 3 mm, natomiast największa wysokość szczeliny wynosi około 3 mikrometry. Ilość obrotów mieści się w przedziale od 1000 do 7200 rpm. Nanorowki na powierzchni czopa i panewki umożliwiają sterowanie parametrami dynamicznymi komputerowego wentylatora oraz dysku twardego oraz stanowią o jego inteligentnych właściwościach.

ANALIZA SKŁADNIKÓW WARSTWY WIERZCHNIEJ CZOPA I PANEWKI METODĄ SEM

Analiza składu materiałowego warstwy wierzchniej czopa i panewki dla poszczególnych mikrołożysk **[L. 4]** została przeprowadzona metodą Skaningowej Elektronowej Analizy (SEM) z użyciem aparatury Mira TESCAN INCA. W mikrołożysku oznaczonym na **Rys. 1** numerem 1A, czop został wykonany ze stali X20Cr13 EN10250-4. Materiał łożyskowy składa się z następujących pierwiastków: krzem (Si), chrom (Cr), mangan (Mn), żelazo (Fe). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 1A**.

Tabela 1A. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej czopa w mikrołożysku na Rys. 1 numer 1A

Table 1A. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring in 1A journal bearing material

Składniki	Si	Cr	Mn	Fe	Całość
Wartość średnia [%]	0,88	13,57	0,55	85,00	100,00

Panewka mikrołożyska pokazana na **Rys. 1** z numerem 1B jest wykonana z mosiądzu CB763S EN 1982. Składnikami są: miedź (Cu), cynk (Zn). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 1B**.

Tabela 1B. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej panewki w mikrołożysku na Rys.1 numer 1B

Table 1B. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring in alloy on the 1B sleeve surface

Składniki	Cu	Zn	Całość
Wartość średnia [%]	60,23	39,77	100,00

W mikrołożysku oznaczonym na **Rys. 1** z numerem 2A czop został wykonany ze stali X20Cr13 EN10250-4. Materiał łożyskowy składa się z następujących pierwiastków: krzem (Si), chrom (Cr), mangan (Mn), żelazo (Fe). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 2A**.

Tabela 2A. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej czopa w mikrołożysku na Rys. 1 numer 2A

Table 2A. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring in 2A journal bearing material

Składniki	Si	Cr	Mn	Fe	Całość
Wartość średnia [%]	0,42	13,26	0,72	85,60	100,00

Panewka mikrołożyska pokazana na **Rys. 1** z numerem 2B jest wykonana z kompozycji proszkowej CB763S EN 1982. Składnikami są: żelazo (Fe), miedź (Cu), cyna (Sn). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 2B**.

Tabela 2B. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej panewki w mikrołożysku na Rys. 1 numer 2B

Table 2B. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring in alloy on the 2B sleeve surface

Składniki	Fe	Cu	Sn	niezidentyfikowany	Całość
Wartość średnia [%]	77,92	17,71	1,89	2,48	100,00

W mikrołożysku oznaczonym na **Rys. 1** z numerem 3A czop został wykonany ze stali X20Cr13 EN10250-4. Materiał łożyskowy składa się z następujących pierwiastków: krzem (Si), chrom (Cr), żelazo (Fe). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 3A**.

Tabela 3A. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej czopa w mikrołożysku na Rys. 1 numer 3A

Table 3A. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring in 3A journal bearing material

Składniki	Si	Cr	Fe	Całość
Wartość średnia [%]	0,40	13,75	85,85	100,00

Panewka mikrołożyska pokazana na **Rys. 1** z numerem 3B jest wykonana ze stali GB 4239 (Chiny). Składnikami są: krzem (Si), chrom (Cr), mangan (Mn), żelazo (Fe). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 3B**.

Tabela 3B. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej panewki w mikrołożysku na Rys. 1 numer 3B

Table 3B. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring on the 3B sleeve work surface

Składniki	Si	Cr	Mn	Fe	Całość
Wartość średnia [%]	0,39	21,02	1,98	76,62	100,00

W mikrołożysku oznaczonym na **Rys. 1** z numerem 4A czop został wykonany ze stali X20Cr13 EN10250-4. Materiał łożyskowy składa się z następujących pierwiastków: krzem (Si), chrom (Cr), mangan (Mn), żelazo (Fe). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 4A**.

Tabela 4A. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej czopa w mikrołożysku na Rys. 1 numer 4A

Table 4A. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring in 4A journal bearing material

Składniki	Si	Cr	Mn	Fe	Całość
Wartość średnia [%]	0,50	14,48	0,72	84,29	100,00

Panewka mikrołożyska pokazana na **Rys. 1** z numerem 4B jest wykonana ze spieku 53.5 Cu-45Fe-1.5Sn o proszkowej kompozycji składającej się z: krzemu (Si), żelaza (Fe), miedzi (Cu), cyny (Sn). Procentowe wartości składników podano w **Tabeli 4B**.

Tabela 4B. Procentowe wartości składników w warstwie wierzchniej panewki w mikrołożysku na Rys. 1 numer 4B

Table 4B. X-Ray analysis results of percent values of ingredients occurring on the 4B sleeve work surface

Składniki	Si	Fe	Cu	Sn	Całość
Wartość średnia [%]	0,10	44,60	51,74	1,40	100,00

POMIAR MIKROTWARDOŚCI

Badanie mikrotwardości dokonano poprzez pomiar przekątnej wgniecenia wywołanego wciskaniem w materiał piramidki diamentowej (indentera) o kształcie ostrosłupa. Pomiar wykonano z użyciem standardowego mikrotwardościomierza Vickersa o nazwie MICROHARDNESS TESTER PMT-3M (LOMO-Russia) **[L. 4, 5]**. Odczyty danych przekazywane były do mikroskopu sił atomowych (AFM) i do komputera. Obciążenie piramidki diamentowej przy wgniataniu wynosiło 100 g. Symbolami d_1, d_2, d_3, d_4 oznaczone zostały wartości w mikrometrach przekątnych otworów wgniecenia. Głębokość wgniecenia osiągała wartość około 1/7d.

Tabela 5. Wartości mikrotwardości powierzchni czopa i panewki dla rozpatrywanych mikrołożysk

Table 5. The Vickers hardness values for journal and sleeve surface in considered microbearings

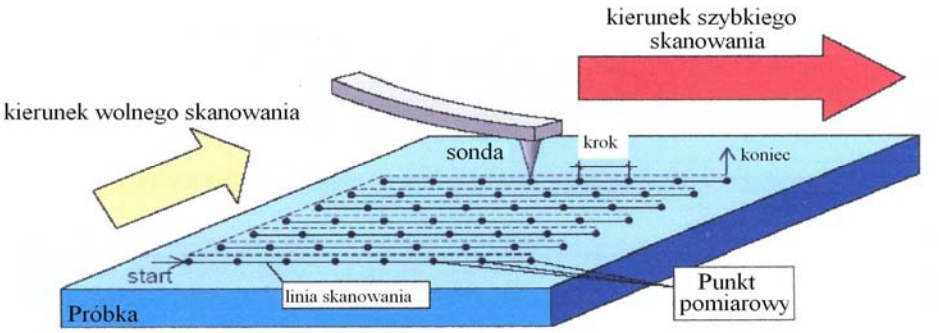
Numer czopa i panewki mikrołożyska	MIKROTWARDOŚĆ VICKERSA*, [MPa]	
	A Czop	**B Panewka**
1A, 1B	**7810** (d_1=15,8; d_2=15,8; d_3=15,1; d_4=15,4)	**2310** (d_1=29,5; d_2=29,5; d_3=27,0; d_4=27,3)
2A, 2B	**9050** (d_1=14,0; d_2=14,5; d_3=14,5; d_4=14,4)	**1150** (d_1=41,5; d_2=41,0; d_3=41,5; d_4=39,5)
3A, 3B	**7280** (d_1=16,0; d_2=16,3; d_3=15,5; d_4=16,0)	**3530** (d_1=22,5; d_2=23,0; d_3=23,0; d_4=24,0)
4A, 4B	**8570** (d_1=14,0; d_2=14,8; d_3=15,1; d_4=14,8)	**2010** "żółta faza" (d_1=33,5; d_2=32,0; d_3=33,0; d_4=28,5 d_5=33,0; d_6=35,0) **1750** "biała faza " (d_1=31,5; d_2=30,5; d_3=29,5; d_4=30,5 d_5=29,5)

* – wartość średnia z pomiaru.

Dokładność odczytów mieściła się w granicach ±0,5 mikrometra. Odczyty mikrotwardości dla powierzchni panewki mikrołożyska nr 4 dokonano w dwóch fazach dla większych i mniejszych przekątnych d wgnieceń. Odczyty wartości mikrotwardości powierzchni czopa i panewki dla poszczególnych mikrołożysk podaje **Tabela 5**.

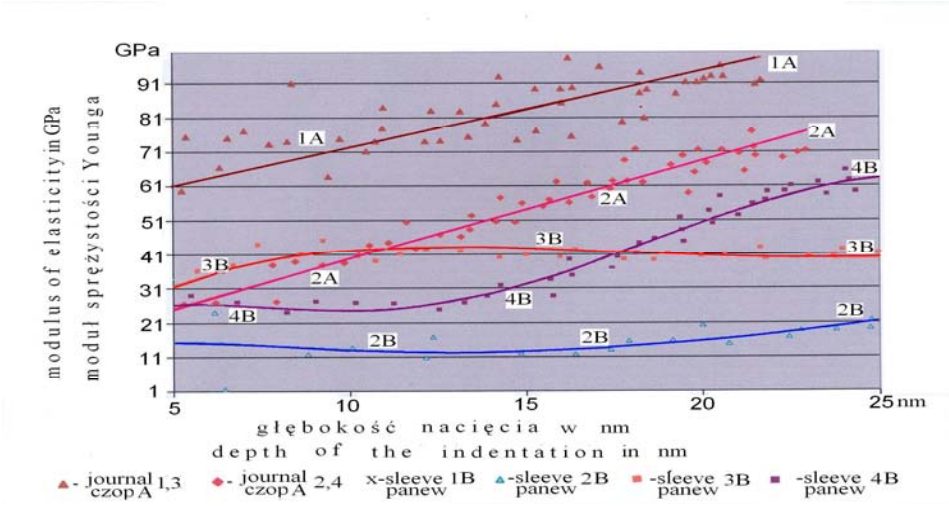
POMIAR WARTOŚCI MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI YOUNGA

Pomiar modułu sprężystości Younga przeprowadzono za pomocą AFM o średnicy indentera w kształcie stożka o promieniu 100 nm. Badania przeprowadzono w następującej kolejności: 1 – skanowanie powierzchni mikroskopem AFM, 2 – wybranie badanego punktu, 3 – wprowadzenie indentera do badanego punktu oraz włączenie fazy pomiarowej metodą statycznej spektroskopii sił, 4 – powtórzenie powyższej czynności dla kolejnych punktów pomiarowych, 5 – obliczenie modułu sprężystości. Opisane czynności pokazano na **Rys. 2**.



Rys. 2. Ruch próbki pod sondą AFM podczas pobierania danych pomiarowych
Fig. 2. A sample motion during the AFM probe during the data acquisition

Rysunek 3 ilustruje wyniki pomierzonych wartości modułów sprężystości Younga dla warstw wierzchnich powierzchni czopów 1A, 2A, 3A, 4A i powierzchni panewek 2B, 3B, 4B uwidocznionych na **Rys. 1**. Jednostką na osi pionowej rysunku są GPa, natomiast na osi poziomej oznaczono głębokość w nanometrach dokonanego odczytu wartości. Brakuje odczytu wartości 1B na powierzchni panewki mikrołożyska oznaczonego numerem 1, ponieważ uzyskano nierealistyczne wyniki **[L. 4, 5]**.



Rys. 3. Wartości modułu sprężystości Younga w GPa na powierzchniach czopów 1A, 2A, 3A, 4A, oraz panewek 2B, 3B, 4B po głębokościach warstwy wierzchniej w nm

Fig. 3. Values of modulus of elasticity in GPa on the journals 1A, 2A, 3A, 4A and sleeves 2B, 3B, 4B surface versus depth of the indentation in nm

WNIOSKI

Moduł sprężystości Younga materiału w nieeksploatowanych panewkach mikrołożysk ślizgowych maleje w miarę zagłębiania się w warstwę wierzchnią, natomiast wartość modułu sprężystości materiału w czopach mikrołożyska wzrasta wraz z oddalaniem się od powierzchni ślizgowej opływanej czynnikiem smarującym.

Mikrotwardość powierzchni nieeksploatowanych czopów mikrołożysk ślizgowych jest około 4 razy większa od wartości mikrotwardości panewek.

Analiza zmian wartości mikrotwardości oraz modułu Younga materiału łożyskowego po grubości warstwy wierzchniej mikrołożyska, a także analiza architektury zmian powierzchni zewnętrznej warstwy wierzchniej pozwala na świadome sterowanie zmianami lepkości cieczy smarującej w szczelinie łożyska o grubości poniżej jednego mikrometra, co w konsekwencji doprowadza od inteligentnego sterowania rozkładami ciśnienia hydrodynamicznego oraz siły nośnej.

Acknowledgement

AUTHORS THANK FOR THE FINANCIAL HELP OF RESEARCH PROJECTS 3475/B/T02/2009/36 IN YEARS 2009–2012.

LITERATURA

1. 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, p. 837––847, 2007.
2. Wierzcholski K., Miszczak A.: Adhesion Influence on the Oil Velocity and Friction Forces in Hyperbolic Microbearing Gap. Journal of Kones Powertrain and Transport, Warsaw 2010, Vol. 17, No. 3, p. 483–489.
3. Wierzcholski K, Miszczak A.: Adhesion Influence on the Oil Velocity and Friction Forces in Cylindrical Microbearing Gap. Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance, Polish Academy of Sciences (Zagadnienia Eksploatacji Maszyn Kwartalnik PAN) z.1(161), 2010, vol. 45, p. 71–79.
4. Chizhik S., Khudoley A., Kuznetsova T., Wierzcholski K., Miszczak A.: Micro and Nanoscale Wear Studies of HDD Slide Bearings By Atomic Force Microscopy. Proceedings of Methodological Aspects of Scanning Probe Microscopy, Heat and Mass Transfer Institute of NAS, Minsk 2010, p. 247–252.
5. Chizhik S., Wierzcholski K., Trushko A., Zbytkowa M., Miszczak A.: Properties of cartilage on macro and nanolevel. Advances in Tribology, vol. 2010, Hindawi Publishing Corporation, New York: http://www.hindawi.com/apc.aspx?n=243150.

Recenzent:
Stanisław ADAMCZAK

Summary

This paper presents the measurement of superficial layer properties for a new undamaged journal and sleeve microbearing surfaces occurring in computer ventilator Kama Flow SP0825FDB12H 80 mm, in computer ventilator Xilence Case Fan 92 mm, and in computer Hard Disc Driver 2.5" Samsung HM 160 HI, 5400 rpm, and

computer Hard Disc Driver 3.5" Seagate Barakuda, 7200.10 ST 380815AS, 7200 rpm.

Indentation of the points during the measurements of the modulus of elasticity of the superficial layer material was performed using the static-force spectroscopy mode of the AFM. Moreover, Vickers micro-hardness value studies for journal and sleeve surface using micro-hardness Tester PMT-3M-LOMO-Russia are presented. Developed measurements from scanning electron microscope and micro-X-ray analysis, using Mira TESCAN INCA, illustrating images of journal and sleeve work surfaces taking into account Microscopy system, Atomic Force Microscope (AFM) roughness tests with 3D images of journal and sleeve work surfaces and profiles of their cross sections are also presented.

The determined changes in the modulus of elasticity in the thickness of the superficial layer indicate the changes of the elasticity modulus on the nano-groove and nano-ridge surfaces. In the super thin microbearing gaps smaller than 1 micrometer, the oil dynamic viscosity depends on the modulus of elasticity of the bearing material laying on the micro bearing surfaces. Therefore, the oil dynamic viscosity changes in the boundary layers around the grooves and ridges on the bearing surface.