POWRÓT

WPŁYW METODY WYZNACZANIA KRZYWYCH STRIBECKA NA ICH PRZEBIEG W BADANIACH MINIATUROWYCH ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH

JADWIGA JANOWSKA
Politechnika Warszawska,
Instytut Konstrukcji Przyrządów Precyzyjnych i Optycznych,
02 - 525 Warszawa, ul. Chodkiewicza 8.

SŁOWA KLUCZOWE

Tribologia, tarcie, metody badań tarcia, łożysko ślizgowe poprzeczne, współczynnik tarcia, moment tarcia, liczba Herseya, prędkość poślizgu, obciążenie, lepkość dynamiczna.

STRESZCZENIE

Przedstawiono wpływ metody wyznaczania krzywych Stribecka na ich przebieg w badaniach miniaturowych łożysk ślizgowych. Udowodniono postawioną tezę, że doświadczalnie wyznaczone krzywe Stribecka, charakteryzyjące opory ruchu w miniaturowych łożyskach ślizgowych, zależą nie tylko od wartości liczby Herseya lecz także od wartości jej wielkości składowych oraz od sposobu ich zmian.

WPROWADZENIE

W wielu ośrodkach naukowych, w tym także w Instytucie Konstrukcji Przyrządów Precyzyjnych i Optycznych Politechniki Warszawskiej, od wielu lat prowadzone są prace badawcze dotyczące miniaturowych węzłów tacia, w szczególności zaś łożysk ślizgowych. Z obserwacji poczynionych przy badaniach, omówionych w publikacji [1, 2], wynika zasadność podjęcia tematu dotyczącego wpływu metody wyznaczania krzywych Stribecka na ich przebieg dla miniaturowych łożysk ślizgowych. Analizę oporów ruchu łożysk ślizgowych przeprowadza się w oparciu o krzywe Stribecka. Są one geometryczną interpretacją zależności:

$$\mu = f(K) \tag{1}$$

gdzie: μ - współczynnik tarcia w łożysku, $K = \eta v/F$ - liczba Herseya, η - lepkość dynamiczna oleju, v - prędkość poślizgu, $F = p\,l\,d$ - obciążenie łożyska, p - nacisk obliczeniowy w łożysku, d - średnica nominalna, l - długość czynna panewki.

Krzywe Stribecka, w przypadku łożysk smarowanych jak i niesmarowanych, sporządza się zwykle metodą pomiarów dyskretnych. Najczęściej, przy przyjętych z góry wartościach nacisku, mierzony jest moment tarcia w łożysku ślizgowym (przeliczany na współczynnik tarcia)

dla kolejnych, ustalonych wartości prędkości poślizgu [3]. Ta powszechnie stosowana metoda sporządzania krzywych Stribecka jest bardzo pracochłonna. Wymaga dokonywania odczytu po ustaleniu się warunków pracy elementów trących dla kolejnych punktów krzywej. Poza tym krzywe Stribecka wyznaczone metodą pomiarów dyskretnych opisują zjawiska zachodzące w łożyskach ślizgowych w stanach ustalonych, gdy tymczasem elementy łożyskowane ślizgowo pracują często w warunkach zmiennych w czasie obciążeń i prędkości poślizgu.

W celu zmniejszenia błędów oraz pracochłonności pomiarów zaproponowano programowane zmiany parametru K i bezpośrednie rejestrowanie wartości momentu tarcia w łożysku. Przeprowadzone badania wstępne wykazały różnice między krzywymi Stribecka uzyskanymi przy liniowej zmianie prędkości poślizgu v (p, η = constans) a krzywymi Stribecka uzyskanymi w stanach ustalonych. Celem prezentowanej pracy jest sformułowanie zaleceń metodycznych do wyznaczania oporów ruchu w miniaturowych łożyskach ślizgowych. Autorka stawia przy tym następującą tezę, że: doświadczalnie wyznaczone krzywe Stribecka, charakteryzujące opory ruchu w miniaturowych łożyskach ślizgowych, zależą nie tylko od wartości liczby Herseya lecz także od wartości jej wielkości składowych oraz od sposobu ich zmian.

Do zweryfikowania tej tezy oraz w celu przeprowadzenia wszechstronnych badań oporów ruchu w miniaturowych łożyskach ślizgowych, zostało zbudowane stanowisko badawcze [4, 5, 6].

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Do badań użyto łożysk ślizgowych poprzecznych (średnica nominalna czopa 2 mm). Wałek o rolerowanych czopach wykonano ze stali automatowej A11, zaś panewki z mosiądzu MO63. Luz średnicowy zawierał się w granicach 20-30 μm. Prędkość poślizgu v i nacisk obliczeniowy p przyjęto jako zmienne wielkości wejściowe. Współczynnik tarcia μ przyjęto za wielkość wyjściową. Przeprowadzono badania łożysk niesmarowanych i smarowanych olejem zegarmistrzowskim Moebius 8030.

Wykonano trzy pełne cykle badań. W pierwszym, badania przeprowadzano przy stałych wartościach nacisku p. Prędkość poślizgu v zmieniana była liniowo z różnym przyspieszeniem lub wg przebiegu sinusoidalnego o różnej amplitudzie oraz częstotliwości. W drugim cyklu badania przeprowadzano przy stałych wartościach prędkości poślizgu v. Zmiana wartości nacisku obliczeniowego p realizowana była liniowo w różnym czasie lub wg przebiegu sinusoidalnego o różnej amplitudzie i częstotliwości. W trzecim cyklu badania przeprowadzano przy różnych, ustalonych wartościach nacisku p i prędkości poślizgu v.

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono między innymi, że:

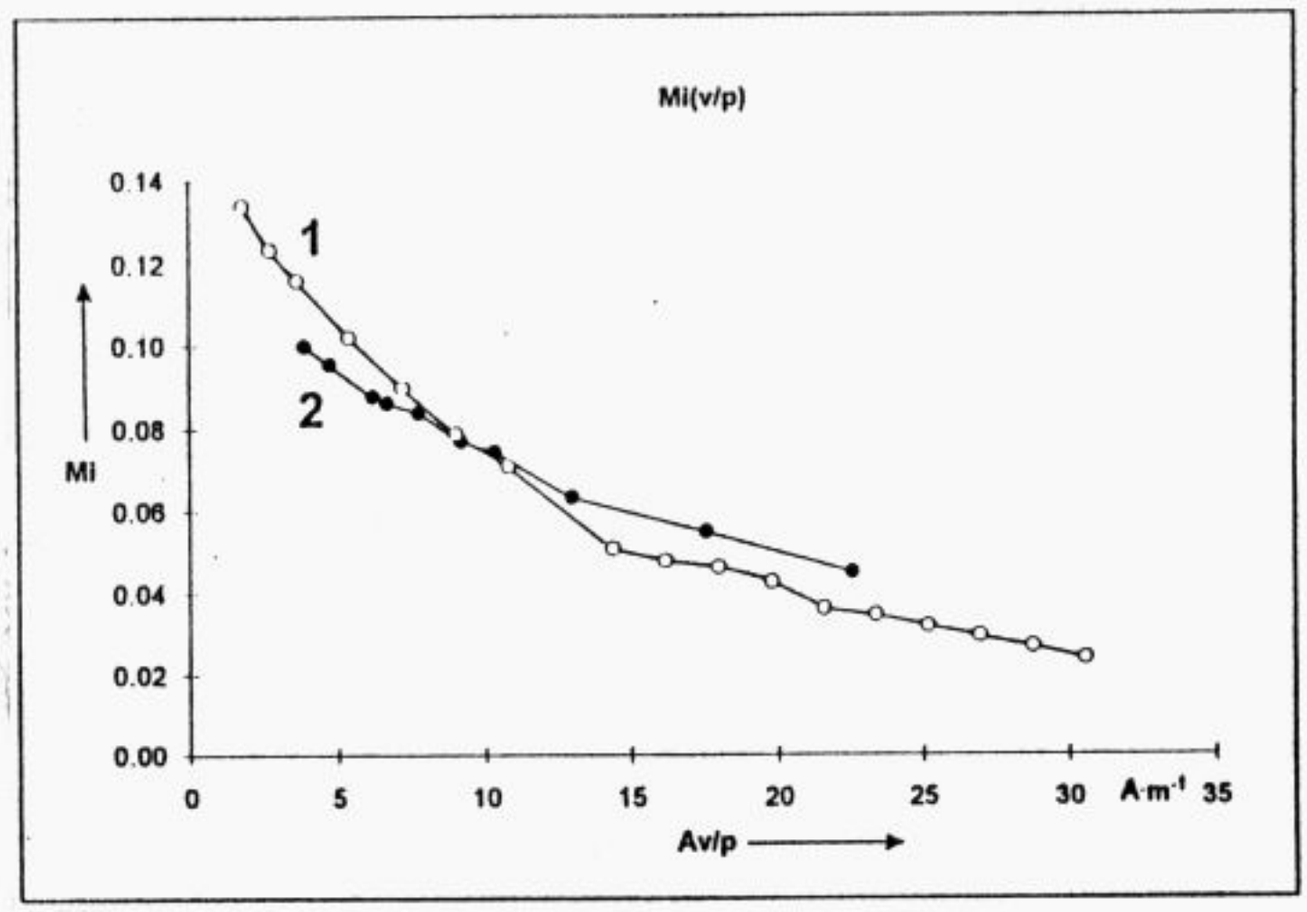
1° charakter doświadczalnie wyznaczonej krzywej Stribecka zależy od sposobu uzyskania zmienności liczby Herseya, tzn. od tego, czy zmianę liczby Herseya uzyskano:

- przez zmianę prędkości poślizgu v przy stałych wartościach nacisku p i lepkości dynamicznej η,
- przez zmianę nacisku obliczeniowego p przy stałych wartościach prędkości poślizgu v i lepkości dynamicznej η. Wpływ sposobu uzyskania zmienności liczby Herseya na przebieg krzywych Stribecka, wyznaczonych metodą pomiarów dyskretnych, przedstawiono na rys. 1;

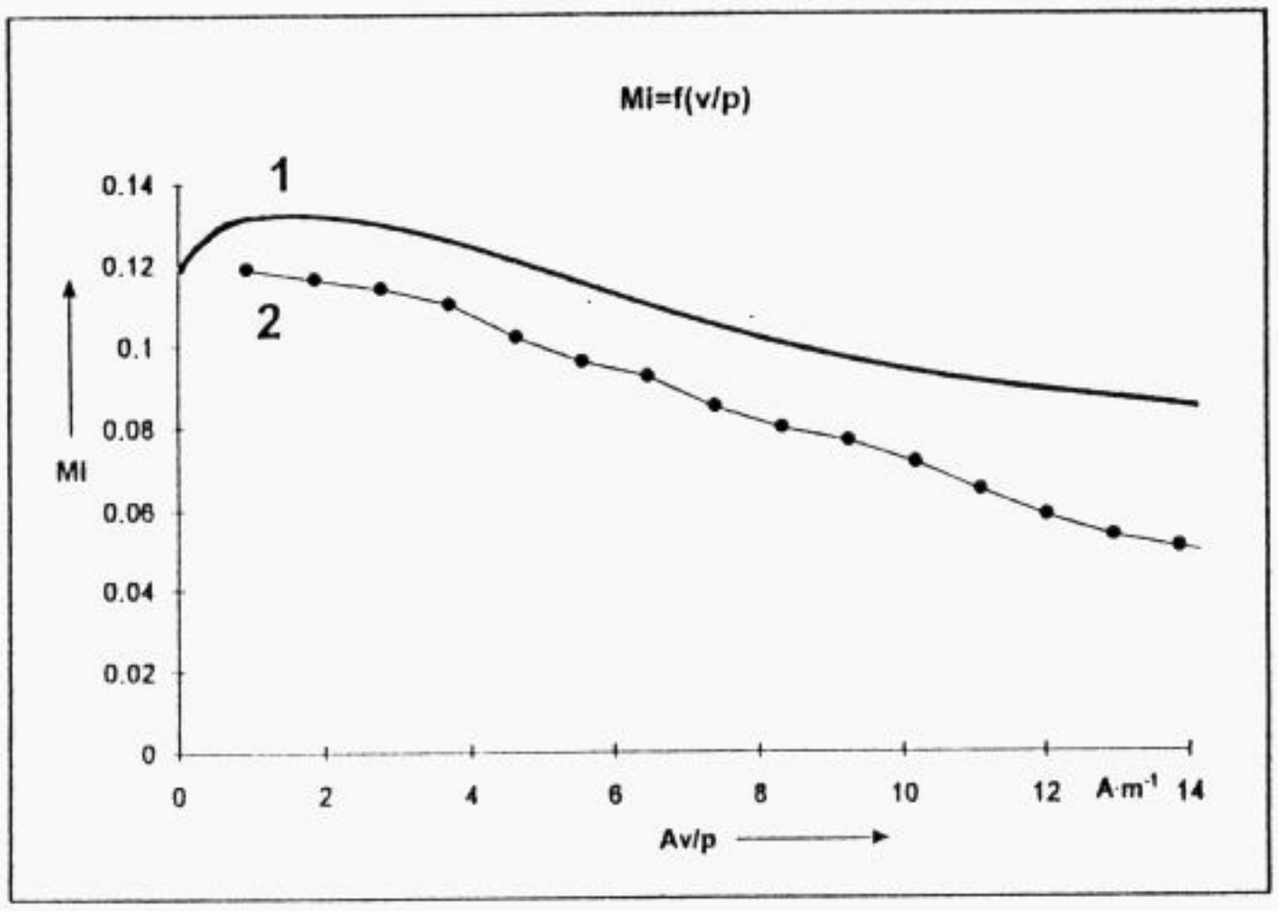
2° charakter doświadczalnie wyznaczonej krzywej Stribecka zależy od sposobu zmian prędkości poślizgu v lub nacisku obliczeniowego p, czyli od sposobu zmian składowych wielkości liczby Herseya:

- krzywa Stribecka uzyskana przy liniowej zmianie prędkości poślizgu v leży, w całym zakresie pomiarowym, powyżej krzywej Stribecka otrzymanej dla kolejnych, ustalonych wartości prędkości poślizgu, a więc w stanach ustalonych (rys. 2); obie krzywe wyznaczone były przy stałej wartości nacisku p; kształt krzywych Stribecka dla obu przypadków zmian prędkości poślizgu v jest podobny; różnice między wartościami μ są mniejsze dla łożysk smarowanych;

- krzywa Stribecka uzyskana przy liniowej (ciągłej) zmianie nacisku obliczeniowego p leży powyżej krzywej Stribecka otrzymanej dla kolejnych, ustalonych wartości nacisku obliczeniowego p, a więc w stanach ustalonych (rys. 3); obie krzywe wyznaczone były przy stałej wartości prędkości poślizgu v; kształt krzywych Stribecka dla obu przypadków zmian nacisku obliczeniowego p jest bardzo podobny;



Rys. 1. Wpływ sposobu uzyskania zmienności liczby Herseya na współczynnik tarcia w łożysku
(-- • --) p = (0.45 ÷ 2.5) MPa, v = 10 mm/s(-- o --) p = 1 MPa, v = (2 ÷ 30) mm/s
Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030



Rys. 2. Wpływ sposobu zmian prędkości poślizgu na przebieg krzywych Stribecka (p = 2 MPa)
(-------) liniowa zmiana prędkości z przyspieszeniem 0.5 mm/s^2
(-- • --) wartość prędkości poślizgu w stanach ustalonych
Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030

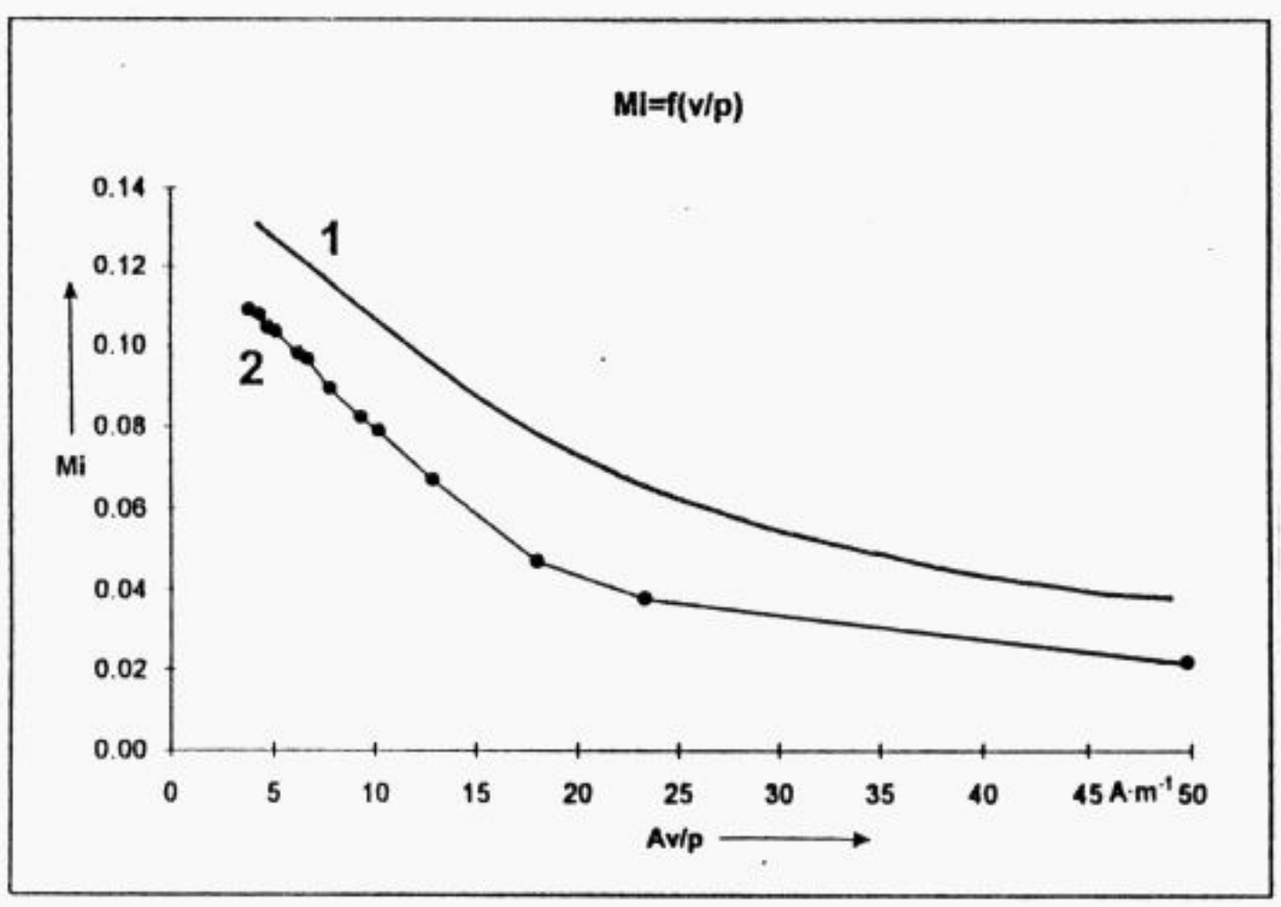
3° charakter doświadczalnie wyznaczonej krzywej Stribecka zależy nie tylko od sposobu zmian składowych wielkości liczby Hersey'a, ale także od wartości ustalonego, dla danego pomiaru, parametru:

- rodzinę krzywych Stribecka, przedstawioną na rys. 4, wyznaczono metodą pomiarów dyskretnych dla różnych stałych wartości prędkości poślizgu v; zmianę wartości liczby Herseya uzyskano, przy stałej wartości prędkości poślizgu v i lepkości dynamicznej η, zmieniając nacisk obliczeniowy p;
- rodzinę krzywych Stribecka, przedstawioną na rys. 5, wyznaczono metodą pomiarów dyskretnych dla różnych stałych wartości nacisku obliczeniowego p; zmianę wartości liczby

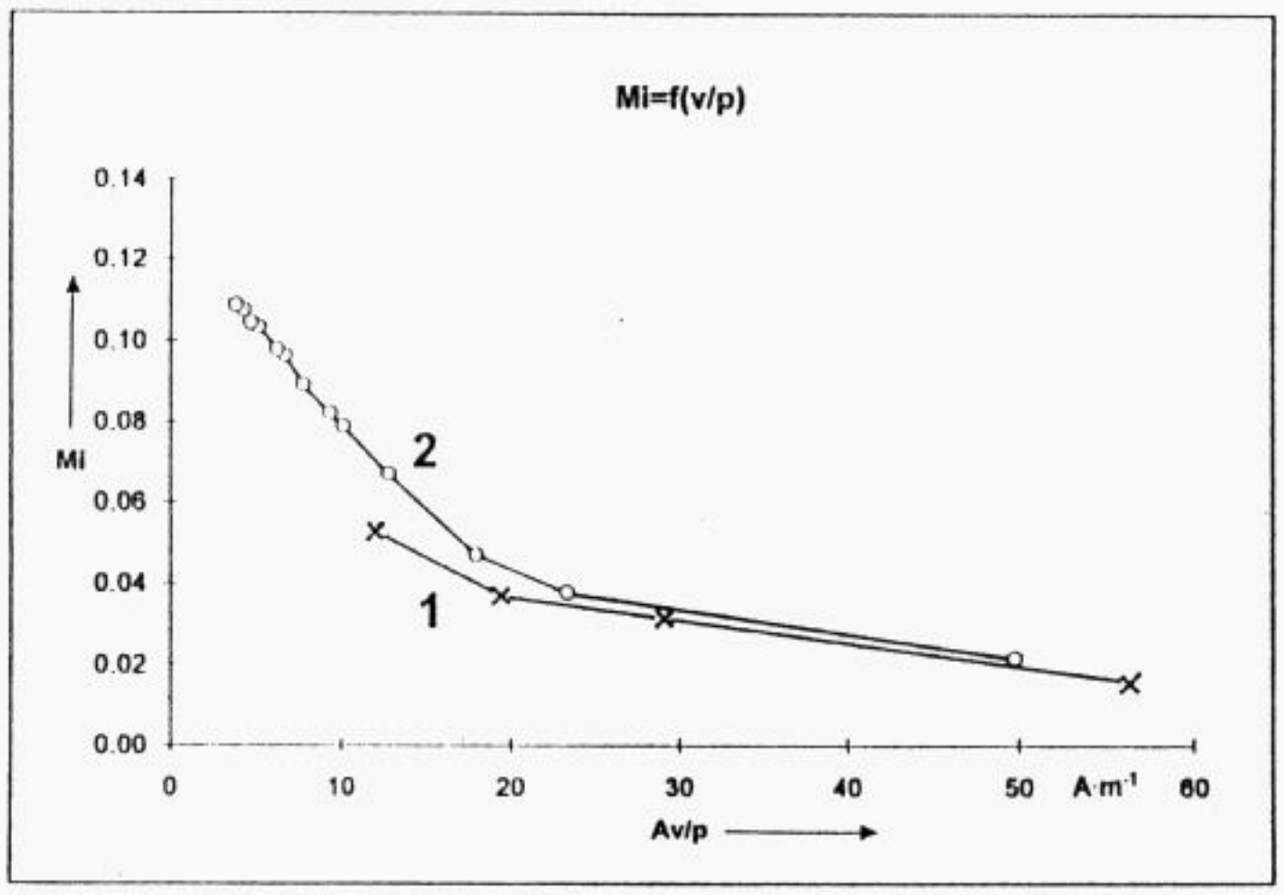
Herseya uzyskano, przy stałej wartości nacisku obliczeniowego p i lepkości dynamicznej η, zmieniając prędkości poślizgu v;

4° w przypadku doświadczalnie wyznaczonych krzywych Stribecka uzyskanych przy liniowej zmianie prędkości poślizgu v od 0 do konkretnej wartości:

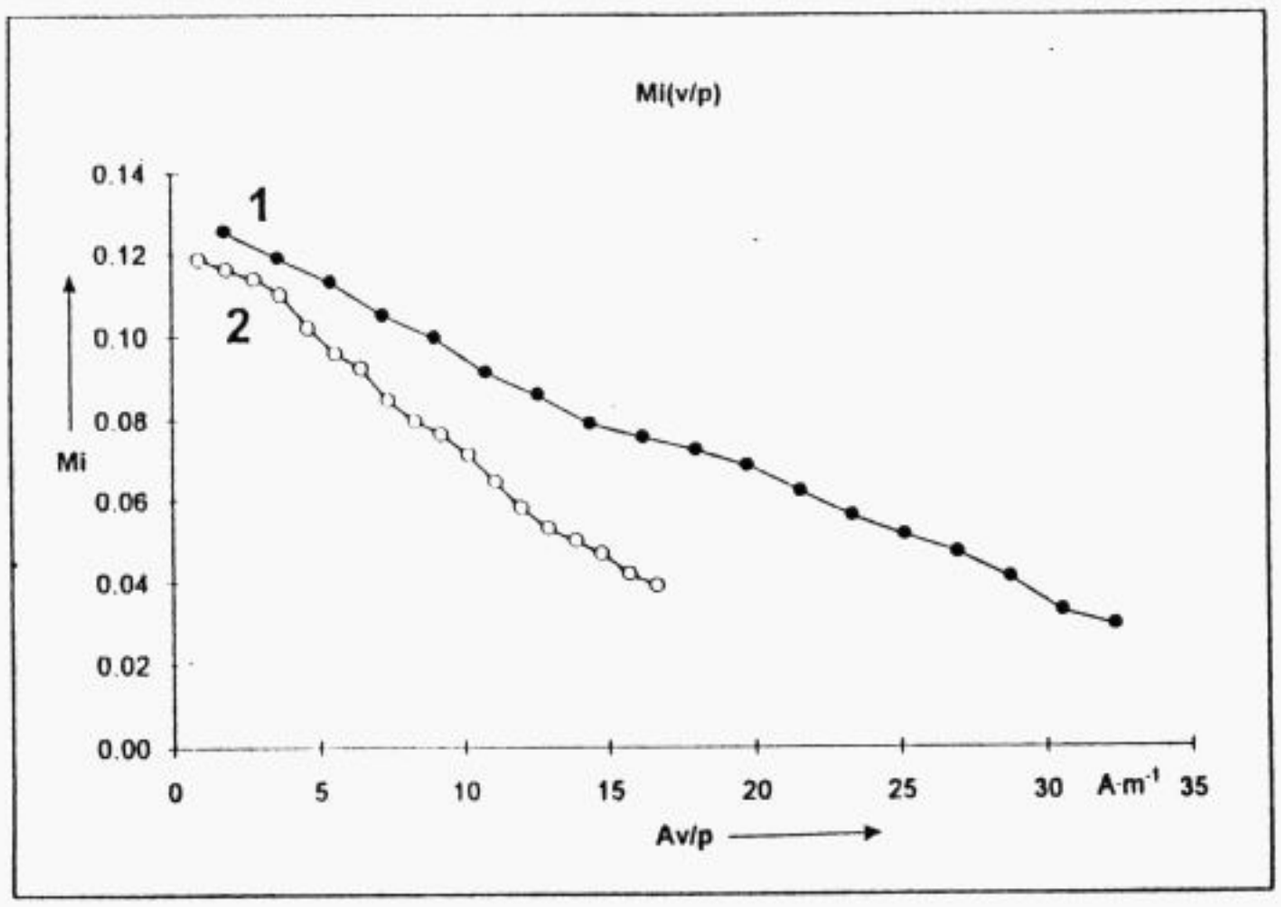
- wartości współczynnika tarcia μ_B (pkt. B) odpowiada chwilowe zerwanie więzów tarciowych w badanej parze łożyskowej, czyli przejście z tarcia statycznego do kinetycznego; im większe przyspieszenie zmian prędkości poślizgu (mniejszy czas przebiegu) tym wartość współczynnika tarcia μ_B jest mniejsza (rys. 6);
- wraz ze wzrostem liczby Herseya, dla łożysk niesmarowanych, następuje spadek wartości współczynnika tarcia μ aż do osiągnięcia minimum, a następnie nieznaczny jej wzrost (rys. 6); dla łożysk smarowanych (rys. 1) obserwowano tylko spadek wartości współczynnika tarcia μ ze wzrostem prędkości poślizgu v (liczby Herseya);



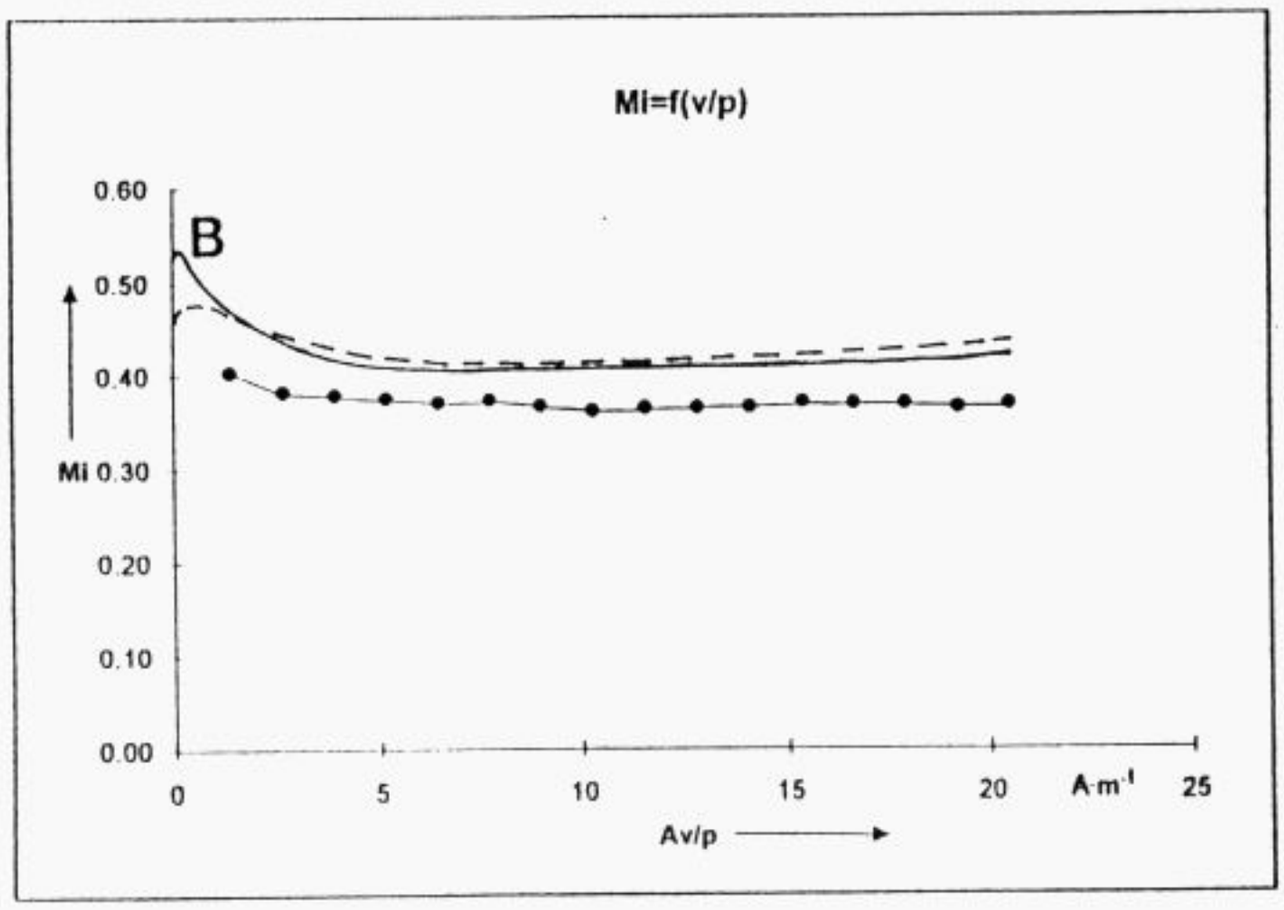
Rys. 3. Wpływ sposobu zmian nacisku na przebieg krzywych Stribecka (v = 10 mm/s)
(------) liniowa zmiana nacisku p = (0.2 ÷ 2.5) MPa w czasie 60 s
(-- • --) wartość nacisku w stanach ustalonych
Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030



Rys. 4. Wpływ udziału składowych czynników liczby Herseya na przebieg krzywych Stribecka
p = (0.2 ÷ 2.5) MPa. Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030
(-- o --) v = 10 mm/s, (-- x --) v = 30 mm/s



Rys. 5. Wpływ udziału składowych czynników liczby Herseya na przebieg krzywych Stribecka v = (0.2 ÷ 32) mm/s. Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030.
(-- • --) p = 1 MPa (-- o --) p = 2 MPa



Rys. 6. Wpływ sposobu zmian prędkości poślizgu na przebieg krzywych Stribecka (p = 1.5 MPa). Łożysko niesmarowane.
(-------) liniowa zmiana prędkości z przyspieszeniem 0.5 mm/s^2 (- - - -) liniowa zmiana prędkości z przyspieszeniem 6 mm/s^2 (-- • --) wartość prędkości w stanach ustalonych

5° krzywe Stribecka, dla łożysk niesmarowanych, wyznaczone metodą pomiarów dyskretnych przy punktowej zmianie wartości prędkości poślizgu v (przy stałych wartościach nacisku obliczeniowego p) osiągają minimum wartości współczynnika tarcia μ dla większych wartości liczby Herseya, niż krzywe Stribecka uzyskane przy liniowej zmianie prędkości poślizgu v (przy stałych wartościach nacisku p) rys. 6;

6° przy zmianie nacisku obliczeniowego p wg przebiegu sinusoidalnego o stałej amplitudzie stosunek średniego momentu tarcia M_t do średniej wartości nacisku obliczeniowego p zmienia się o około 20% w zależności od wartości częstotliwości zmian nacisku;

7° **łożysko ślizgowe poprzeczne charakteryzuje** duże tłumienie; nie przenosi ono wysokich częstotliwości zmian nacisku obliczeniowego p i prędkości poślizgu v.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania potwierdziły postawioną tezę i wykazały wpływ metody wyznaczania krzywych Stribecka na ich przebieg.

Przedstawiona w pracy metoda badań oporów ruchu w miniaturowych łożyskach ślizgowych umożliwia ciągłą automatyczną rejestrację wyników. Może służyć do porównania własności smarnych olejów. Wydaje się słuszne zachowanie stałego nacisku oraz znormalizowanie zmian prędkości podczas badań, aby w ten sposób móc porównać wyniki uzyskiwane przez różnych badaczy na różnych stanowiskach.

recenzował: Prof. dr hab. inż. Jan Burcan

BIBLIOGRAFIA

1. Oleksiuk W., Brzeski M.: Badanie oporów tarcia łożysk ślizgowych przy nieustalonej prędkości czopa, Pomiary Automatyka Kontrola, 1975, nr 12
2. Brzeski M.: Próba identyfikacji dynamicznych własności frykcyjnych poprzecznych łożysk ślizgowych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Mechanika 1982, z. 80, s. 67 - 82
3. Galser G., Tillwich M.: Handbuch der Chronometrie und Uhrentechnik, Teilband II / 9b, Kapitel 8.4: Tribologie in der Uhren- und Feinwerktechnik, Stuttgart 1987
4. Janowska J.: Stanowisko do pomiaru momentu tarcia i temperatury w miniaturowych łożyskach ślizgowych przy ustalonych lub nieustalonych wartościach prędkości poślizgu i nacisku, Pomiary Automatyka Kontrola, 1990, nr 2-3
5. Janowska J.: Testing miniature journal bearings operating under variable load and/or sliding speed, Proceedings of China International Symposium for Youth Tribologists (CISYT'92) Lanzhou, Chiny, 10- 14.08.1992, s. 469-474
6. Janowska J.: Einfluß der zeitveränderlichen Größen Geschwindigkeit und/oder Belastung auf die Reibung in feinwerktechnischen Gletilagern. 38 Internationales Wissenschaftlisches Kolloquium der Technischen Universität Ilmenau, 20-23.09.1993, Tagungsband s. 530-539

INFLUENCE OF THE METHOD OF DETERMINATION OF STRIBECK'S CHARACTERISTICS ON THEIR SHAPE AT INVESTIGATION OF MINIATURE JOURNAL BEARINGS

Summary

The effect of the method of determination of Stribeck's characteristics on their shape for miniature journal bearings is presented. The thesis that the experimentally obtained Stribeck's frictional characteristics for miniature journal bearings do not depend only on the Hersey's number but also on the values of its components and on the method of their (i.e. components) variations.