

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Stanowisko do modelowania procesu tarcia w łożyskowaniu igiełkowym

JERZY NACHIMOWICZ, ROBERT KORBUT

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA BUDOWY I EKSPLOATACJI MASZYN

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono stanowisko przeznaczone do badania procesu tarcia i zużycia w łożyskowaniu igiełkowym. Prezentowane stanowisko pozwala zarejestrować prędkości obrotowe wałka i igiełek, moment tarcia oraz wydzielające się ciepło. Zmiana obciążenia, środowiska pracy oraz prędkości obrotowej w połączeniu ze zmienną geometrią elementów współpracujących w węźle tarciovym, pozwala na zbadanie wpływu tych parametrów na moment tarcia i zużycie. Obecnie nie istnieje powszechnie funkcjonująca metoda umożliwiająca określenie tarcia poślizgu w łożyskowaniu igiełkowym – zatem budowa stanowiska jest zasadna.

The stand for modelling the process of friction in the needle bearing

ABSTRACT

The article introduces a stand designed for examining the process of friction and wear in the needle bearing. The device enables us to record the rotational speed of the shaft neck and needle rollers, the moment of friction and the heat emitted. Alterations in the load, the working environment and the rotational speed combined with changing geometry of cooperating elements in the friction pair make it possible to estimate the influence of these parameters on the moment of friction and the degree of wear. At present there is no commonly accepted method of measuring the needle spin in the needle bearing, which means that constructing the stand is justifiable.

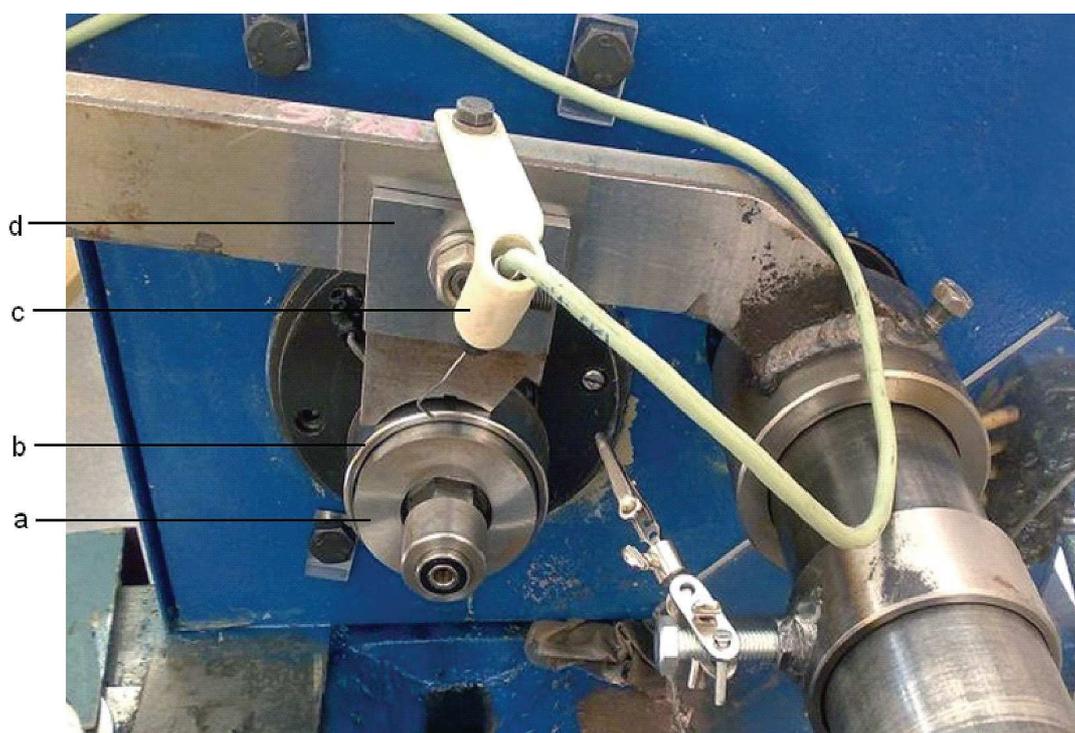
1. WPROWADZENIE

Jednym z najważniejszych parametrów łożyska jest trwałość. Przy wyeliminowaniu takich czynników destrukcyjnych jak niewłaściwy montaż, przekroczenie luzu krytycznego lub praca w agresywnym środowisku, czynnikiem dominującym, którego nie można wyeliminować w zużyciu łożyska jest zmęczenie metalu poprzez tarcie. W łożysku igiełkowym mamy do czynienia z dwoma rodzajami tarcia: tarciem tocznym i tarciem poślizgu [1]. Rozpatrując sytuację wyidealizowaną można założyć, że w węzle tarciovym igiełka łożyska bez poślizgu toczy się bezpośrednio po powierzchni wałka, wówczas liczbę jej obrotów, wokół własnej osi, można obliczyć ze stosunku średnic wałka i igiełki. W rzeczywistości opory ruchu wynikające z obciążeń zewnętrznych i wpływu środowiska smarowego przyczyniają się do spowolnienia pracy igiełki (utrata „synchronizacji” z wałkiem) – występuje zjawisko poślizgu igiełki po bieżni, którą jest czop wałka. Ilość obrotów igiełki wokół jej osi symetrii jest mniejsza niż w sytuacji teoretycznej przedstawionej powyżej, a różnicę między wynikiem uzyskanym z wylczeń i ilością obrotów zliczoną w badaniu można przełożyć na drogę poślizgu igiełki po bieżni czopa wału [2, 4]. Udział momentu tarcia tocznego w łącznym momencie oporu łożyska jest relatywnie mały, zatem założeniem przy budowie stanowiska było skupienie się na otrzymaniu wyników, na podstawie których można określić moment

oporu tarcia poślizgu [3, 5]. Do obserwacji i badań pracy łożyska niezbędne jest stanowisko badawcze, pozwalające stworzyć warunki identyczne lub zbliżone do występujących w trakcie eksploatacji tych łożysk w podzespołach maszyn. Przy opracowaniu metody umożliwiającej określenie wpływu tarcia poślizgu w łożyskowaniu igiełkowym na jego zużycie, wynika potrzeba budowy stanowiska umożliwiającego pomiar wszystkich parametrów tj.: prędkości obrotowych igiełki i wałka, momentu oporu oraz emisji ciepła przy zmianie parametrów zewnętrznych pracy łożyska. Przedstawione w niniejszej publikacji stanowisko badawcze zostało opracowane i wykonane w Politechnice Białostockiej.

Główne założenia przyjęte przy opracowywaniu stanowiska badawczego:

- konstrukcja powinna składać się z silnika zasilającego o płynnej regulacji prędkości obrotowej, momentomierza, czopa wału o zmiennej średnicy zewnętrznej, czujnika obrotów igiełki względem jej osi symetrii, obrotów igiełki wokół osi wałka, oraz obrotów wałka, kamery termowizyjnej, kamery optycznej oraz komputera do zapisu danych;
- obsługa stanowiska powinna być łatwa, a możliwie jak najwięcej wyników przeprowadzonych pomiarów powinno być rejestrowanych w czasie rzeczywistym;
- obsługa stanowiska powinna odbywać się z pulpitu sterowniczego, co minimalizuje zagrożenia związane z ruchem obrotowym elementów;



Rysunek 1. Stanowisko badawcze – węzeł tarciovym: a – nakładka na czop wału, b – łożysko, c – iglica dozująca środek smarowy, d – ramię, przez które przekazywane jest obciążenie

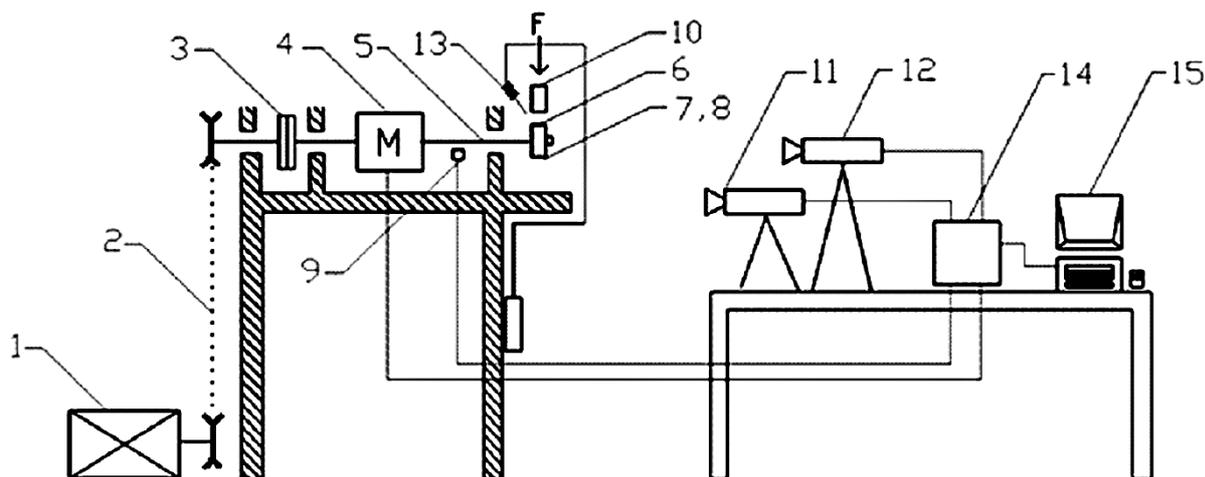
– wszystkie wielkości powinny być rejestrowane automatycznie i zapisywane w pamięci komputera.

2. STANOWISKO BADAWCZE

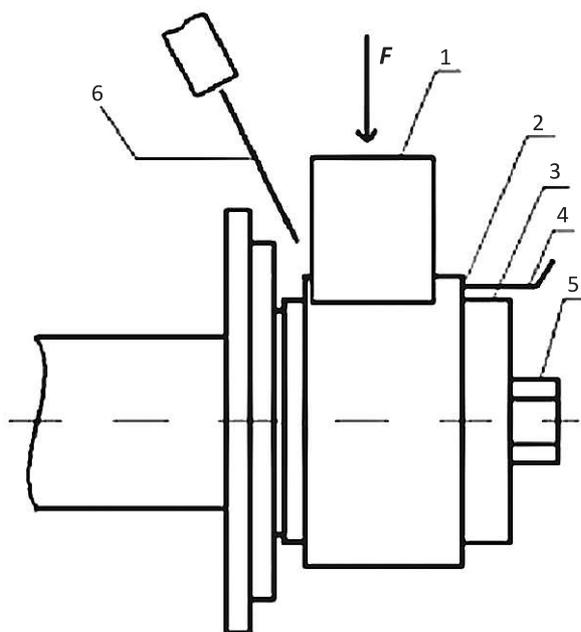
Ogólny widok węzła tarcowego przedstawiono na Rysunku 1, a jego schemat z aparaturą pomiarową na Rysunku 2.

Stanowisko badawcze (Rys. 2) składa się z silnika elektrycznego (1) o płynnej regulacji prędkości ob-

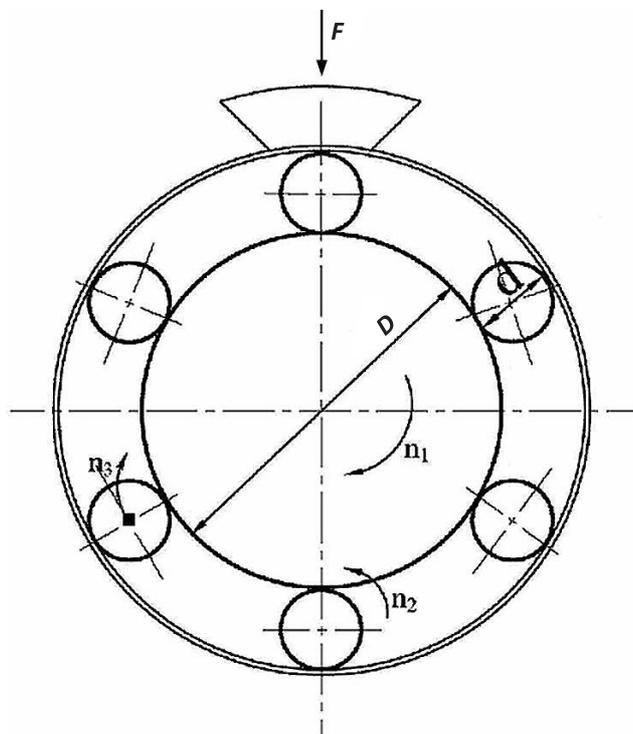
rotowej w zakresie 0-1500 obr/min połączonego z wałkiem za pomocą przekładni pasowej (2), sprzęgła (3), momentomierza (4) zapewniającego ciągły pomiar momentu tarcia, czujnika obrotów: wałka (9), igielki wokół osi wałka (8) i jej osi symetrii (7), ramienia (10) zapewniającego zadawanie obciążenia F na łożysko, iglicy wprowadzającej środek smary do układu (13), kamery termowizyjnej (11), kamery optycznej (12), przetwornika szczytującego i przetwarzającego zanotowane parametry (14), oraz



Rysunek 2. Schemat stanowiska badawczego: 1 – silnik elektryczny, 2 – przekładnia pasowa 3 – sprzęgło, 4 – momentomierz, 5 – czop wału o średnicy D , 6 – igielka łożyska o średnicy d , 7 – czujnik obrotów n_2 igielki względem jej osi symetrii, 8 – czujnik obrotów n_3 igielki wokół osi wałka, 9 – czujnik obrotów n_1 wałka, 10 – ramię obciążające próbkę promieniowo 11 – kamera termowizyjna, 12 – kamera optyczna, 13 – iglica wprowadzająca środek smary do układu, 14 – przetwornik, 15 – komputer do zapisu danych



Rysunek 3. Wzrost tarczy: 1- ramię obciążające próbkę, 2 - łożysko, 3 - nakładka na czop wału, 4 – czujnik obrotów igielki, 5 - nakrętka mocująca nakładkę na czop wału, 6 - iglica wprowadzająca środek smary



Rysunek 4. Geometria układu: n_1 – obroty wałka, n_2 – obroty igielki względem osi symetrii, n_3 – obroty igielki wokół osi wałka, D – średnica wałka, d – średnica igielki, F – siła obciążająca łożysko

komputera do zapisu danych (15). Łożysko igiełkowe z unieruchomionym pierścieniem zewnętrznym jest osadzone na nakładce zamontowanej na czopie wału i obciążone promieniową siłą F . Silnik i wał połączone są za pomocą przekładni pasowej. Silnik napędza czop wału do określonej prędkości, a następnie czujniki obrotów, kamera optyczna, momentomierz, kamera termowizyjna rejestrują odpowiednio prędkości obrotowe wałka i igiełki, moment tarcia oraz wydzielające się ciepło. Badanie łożysk o zmiennych średnicach wewnętrznych jest możliwe dzięki zastosowaniu wymiennych nakładek (3) o różnej średnicy montowanych na czopie wałka (Rys. 3), nakładki te mogą również służyć do regulacji luzu wyjściowego w węźle tarciovym. Geometrię układu i kinematykę ruchu elementów tocznych przedstawiono na Rysunku 4.

3. STEROWANIE UKŁADEM NAPĘDOWYM, POMIAR I REJESTRACJA WYNIKÓW

Do napędu układu wykorzystano silnik elektryczny o mocy 4,5 kW i prędkości obrotowej 1500 obr/min. Maksymalne zadawane obciążenie to 3 kN. Zarejestrowany przez momentomierz moment tarcia służy do obliczenia współczynnika tarcia ze wzoru (1):

$$\mu = \frac{M_t}{F \cdot r} \quad (1)$$

gdzie:

- M_t – moment tarcia,
- F – siła działająca na próbkę,
- r – promień próbki.

Rdzeń czopa wału zezwala na stosowanie nakładek (bieżni, na której pracuje łożysko) o średnicy zewnętrznej 35-65 mm – łożyska o takich średnicach są najczęściej stosowane w różnych konstrukcjach maszyn. Głównym celem przy budowie stanowiska była możliwość monitorowania prędkości obrotowych wszystkich elementów poruszających się w węźle tarciovym. Prędkość obrotowa czopa wału jest rejestrowana w czasie rzeczywistym i równa się prędkości zadanej przez silnik (0-1500 obr/min). Wyniki przeprowadzonych obserwacji obrotów igiełki łożyska wokół osi wałka i względem jej osi symetrii rejestrowane są za pomocą szybkiej kamery optycznej, a następnie zliczane podczas zwolnionej projekcji filmu. Tego typu rozwiązanie nie pozwala na rejestrację wyników w czasie rzeczywistym badania, ale zapewnia możliwie dokładny wynik. Jest to pierwsza tego typu,

niespotykana w literaturze, próba zliczenia prędkości obrotowych igiełki łożyska wokół jej osi. Wyniki zebrane za pomocą dość czasochłonnej, ale obciążonej małym błędem, metody (rejestracja kamerą optyczną i ponowne odtwarzanie) mogą być odniesieniem dla innych prób ustalenia w/w prędkości.

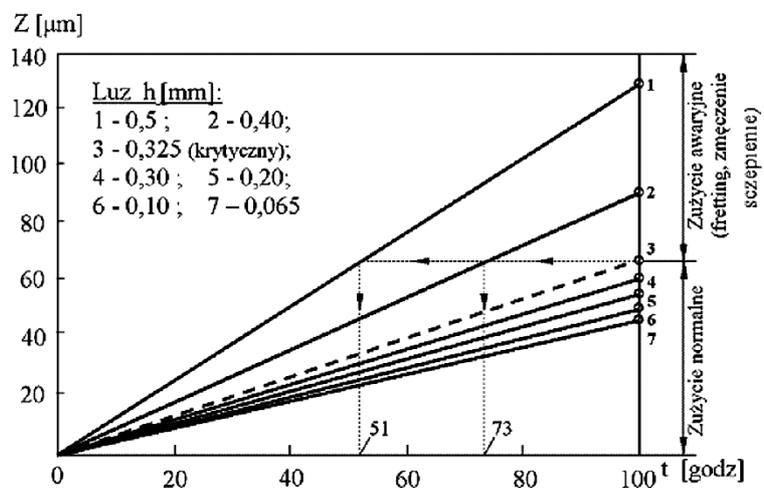
4. METODYKA BADAŃ TESTOWYCH

Próby wstępne obejmowały wykonanie pomiarów momentów oporu ruchu i zużycia czopa wału w funkcji luzu wyjściowego. W próbie określono warunki przejścia od zużycia normalnego do patologicznego, poprzez ustalenie krytycznych parametrów: wartości luzu oraz intensywności zużycia w funkcji obciążenia.

Badania przeprowadzono dla luzu nominalnego 0,065 mm oraz dla luzów uzyskiwanych jako sumę nominalnego i wartości zmniejszenia średnicy czopa wału. Uzyskane w ten sposób skojarzenia pozwoliły na badanie procesu tarcia przy luzach odpowiednio 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 mm. Stugodzinne badania przeprowadzono dla każdej wartości luzu w łożyskowaniu.

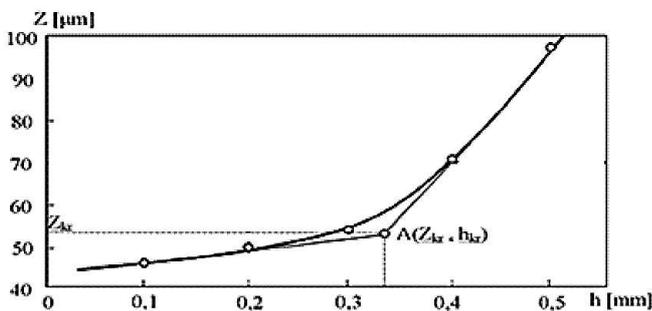
5. WYNIKI I ANALIZA BADAŃ PRÓB TESTOWYCH

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że zwiększenie luzu między elementami w węźle tarciovym prowadzi do znacznego zwiększenia intensywności zużycia czopa wału, a tym samym obniżenia trwałości połączenia. Na Rysunku 5 pokazano kinetyczne zależności zużycia czopa wału dla różnych luzów w funkcji czasu pracy. Do grupy z wysoką szybkością zużycia można odnieść linie 1 i 2 odpowiadające luzom 0,5 mm i 0,4 mm. Znacznie mniejsza prędkość zużycia odniesiona jest do linii 4-7 odpowiadająca lu-



Rysunek 5. Kinetyczne zależności zużycia elementów łożyskowania igiełkowego (naturalne warunki pracy, różne luzy w skojarzeniu)

zom 0,065 mm – 0,3 mm. Linia punktowa 3, określona jako luz krytyczny przy $h = 0,325$ mm, charakteryzuje przejście od mało intensywnego, mechano-chemicznego zużycia do bardziej intensywnego. Przy zwiększaniu luzu, od krytycznego $h = 0,325$ do 0,4 mm, intensywność zużycia jest około dwa razy większa. Przy luzie 0,5 mm trwałość łożyskowania igiełkowego zmniejsza się o około 50% w odniesieniu do trwałości z luzem krytycznym. Na Rysunku 6 przedstawiono zużycie czopa wału w funkcji luzu wyjściowego. Punkt A jako luz krytyczny, przy którym węzeł tarcia pracuje w warunkach normalnego zużycia uzyskano w wyniku przecięcia stycznych przeprowadzonych do gałęzi krzywej zużycia na granicy stref normalnego i patologicznego procesu.



Rysunek 6. Zużycie czopa wału w funkcji luzu wyjściowego

6. PODSUMOWANIE

Przedstawione stanowisko badawcze jest przeznaczone do badania procesu tarcia i zużycia w łożyskowaniu igiełkowym. Zakres możliwości pozwala stworzyć warunki zbliżone do występujących w trakcie rzeczywistej eksploatacji łożysk. Stanowisko umożliwia: badanie łożysk o różnych wymiarach, regulację prędkości obrotowej wałka, zmianę obciążenia łożyska i środowiska smarowego. Badania pozwoliły określić:

- prędkość obrotową wałka, igiełki łożyska wokół osi wałka i względem jej osi symetrii,
- moment oporów tarcia,
- emisję ciepła kamerą termowizyjną.

Pomiar zużycia czopa wału w funkcji luzu wyjściowego pozwolił na określenie warunków przejścia od zużycia normalnego do patologicznego, poprzez ustalenie wartości luzu i intensywności zużycia w funkcji obciążenia. Wynik badania wskazuje, iż przejście od normalnego zużycia do szpienia charakteryzuje się znacznym zwiększaniem intensywności zużycia elementów.

LITERATURA

- [1] Dietrich M. (red.): Podstawy konstrukcji maszyn, Wyd. 3. T.2, Warszawa, 2003, s. 391-400.
- [2] Nachimowicz J., Jałbrzykowski M.: Methodological Aspects of Evaluating Tribological Properties of Ball Bearings, Solid State Phenomena Volumes, Mechatronic System and Materials III, Trans Tech Publications, Switzerland, 147-149.
- [3] Нахимович Е., Корбут Р.: Проблеми тертя та зношування Науково-технічний збірник випуск 52, Київ 2010, s.242-250.
- [4] Hebda M., Wachał A.: Trybologia, Warszawa, 1980, s. 145-147.
- [5] Nachimowicz J., Baranowski T., Jabłoński D.: Tribologiczne aspekty pracy łożyskowań igiełkowych, XXIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Rzeszów-Przemysł 2007, s. 109-115.