

## Temat laboratorium: Diagnostowanie i monitorowanie stanu łożysk tocznych.

<b>Instytut/Zakład:</b>	Instytut Inżynierii Produkcji, Zakład Inżynierii Systemów Technicznych
<b>Kierunek studiów:</b>	Zarządzanie i Inżynieria Produkcji
<b>Semestr:</b>	VI
<b>Rodzaj studiów:</b>	Stacjonarne I stopień, Zabrze
<b>Przedmiot:</b>	Diagnostowanie i monitorowanie systemów technicznych, laboratorium
<b>Prowadzący:</b>	mgr inż. Marcin Dąbrowski

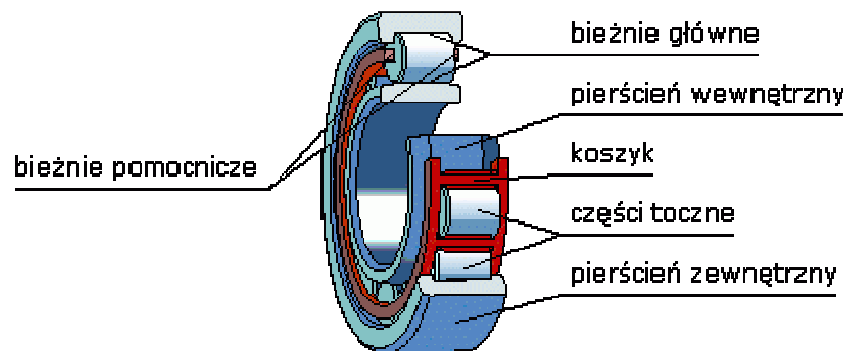
### 1. Wiadomości ogólne o łożyskach

W celu zapewnienia prawidłowej pracy elementów maszyn poruszających się ruchem obrotowym (osi, wałów oraz części maszyn na nich osadzonych) zachowane powinno być stałe położenie osi obrotu wałów względem nieruchomej podstawy (np. korpusu obrabiarki).

Zadanie to spełniają łożyska, a ustalanie położenia osi i wałów względem korpusów maszyn i urządzeń nazywa się łożyskowaniem.

Podstawowymi elementami łożyska tocznego są (rys. 1):

- części toczne,
- koszyk
- pierścienie z bieżniami.



Rys. 1. Części składowe łożyska tocznego

Bieżnie przenoszące obciążenie w głównym kierunku działania łożyska nazywane są bieżniami głównymi, prowadzące zaś element toczny lub przenoszące obciążenie w kierunku innym niż główny nazywane są bieżniami pomocniczymi (rys. 1). Pierścień zewnętrzny osadzony jest w oprawie łożyska, a wewnętrzny na wale maszyny.

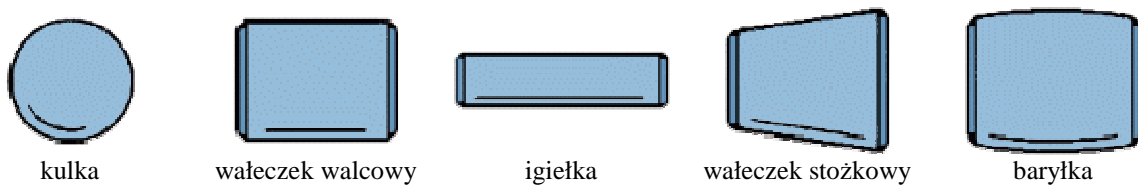
Między pierścieniami znajdują się ujęte koszykiem elementy toczne. Zadaniem koszyka jest oddzielenie elementów tocznych w celu uniknięcia ich wzajemnego tarcia, równomierne ich rozmieszczenie na obwodzie łożyska oraz ewentualne prowadzenie. Innym bardzo ważnym jego zadaniem jest utrzymanie łożyska jako zwartej całości, z wyjątkiem łożysk rozłącznych, jak np. stożkowe i walcowe. Jednak nawet w tych przypadkach koszyk utrzymuje części toczne i jeden pierścień jako nierozłączny zespół.

Nazwy poszczególnych rodzajów łożysk tocznych wynikają z ich klasyfikacji według następujących kryteriów:

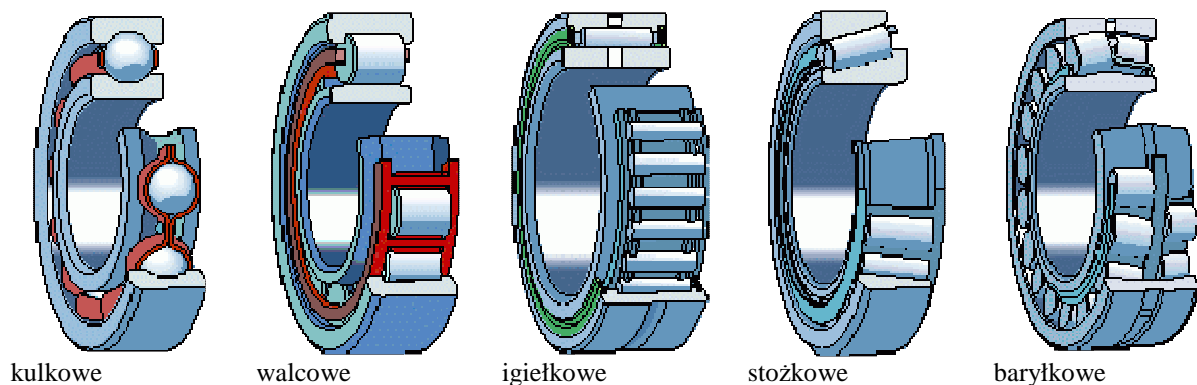
- nominalnego kąta działania (promieniowe, osiowe i skośne),
- kształtu części tocznych (kulkowe, walcowe, igiełkowe, stożkowe, baryłkowe),
- możliwości wzajemnego wychylenia się pierścieni (zwykłe, wahliwe i samonastawne),
- uzupełniających cech konstrukcyjnych, jak np. liczby rzędów części tocznych, rozmieszczenia bieżni pomocniczych, uszczeltek, blaszek ochronnych, kształtu powierzchni osadczych, itp.

Łożyska ze względu na kształt części tocznych (rys. 2.1 i 2.2) można podzielić na:

- kulkowe,
- wałeczkowe,
- walcowe,
- igiełkowe,
- stożkowe,
- baryłkowe i inne.



Rys. 2.1. Rodzaje części tocznych.



Rys. 2.2. Rodzaje łożysk tocznych ze względu na kształt części tocznych.

Łożysko toczne ulega naturalnemu zjawisku zużycia, które polega na zmianie właściwości warstwy wierzchniej powierzchni tocznych bieżni i elementów tocznych. Nominalna trwałość łożyska jest definiowana jako określona liczba obrotów, względnie jako liczba godzin roboczych w określonych warunkach pracy (prędkość obrotowa), którą spełnia 90% łożysk z danego modelu. Analizując konkretne łożyskowanie, trzeba mieć na uwadze, że dla większej prędkości wcześniej wystąpią objawy zmęczenia, takie jak łuszczenie i wykruszanie. Jak pokazuje doświadczenie, nawet testowe łożyska tego samego modelu w

tych samych warunkach pracy mogą uzyskiwać odmienne okresy trwałości. Z tego powodu dane obliczeniowe czy katalogowe należy traktować jako bazowe, a nie ostateczne.

W zakresie trwałości łożysk wyróżnia się jeszcze trwałość eksploatacyjną, która uzależniona jest przede wszystkim od warunków pracy łożyska – począwszy od przebiegu montażu czy demontażu, temperatury, agresywności środowiska, smarowania. Zatem trwałość eksploatacyjna odpowiada trwałości rzeczywistej, w przypadku której łożyska uznaje się za niezdolne do dalszej pracy w wyniku zużycia, korozji, zanieczyszczenia. Przyczyną może być uszkodzenie uszczelnienia i przedostanie się do wnętrza łożyska cząstek o znacznych gabarytach (np. wiórów, piasku itp.).

Gdy łożysko lub łożyska w konkretnym rozwiązaniu łożyskowania nie osiągają nominalnej trwałości, należy przeprowadzić szczegółowe badania zarówno samych łożysk, jak i obudowy, warunków pracy, prześledzić procedury montażu i działania eksploatacyjne.

Łożysko przeważnie charakteryzuje się dłuższym okresem trwałości niż maszyna czy urządzenie, w którym zostało zastosowane. Uszkodzenia łożyska powstają najczęściej w wyniku większego niż założone obciążenia, nieskutecznych uszczelnień, złych pasowań. Źródła uszkodzeń łożysk pozostawiają określone ślady, po których można je zidentyfikować i podjąć środki zaradcze. Podczas pracy występują zaś takie symptomy uszkodzeń, jak (tabela 1):

- przegrzanie łożyska,
- zbyt głośna praca,
- skrócony okres trwałości eksploatacyjnej – częste wymiany,
- drgania,
- zmniejszona moc nominalna maszyny technologicznej,
- zbyt duże luzy osadzenia łożyska,
- utrudnienia obrotów wału.

Tabela 1. Wybrane symptomy uszkodzeń i ich źródła.

<b>OBJAWY:</b>	<b>PRZYCZYNY:</b>
<b>przegrzanie łożyska</b>	źle dobrany smar, za niski poziom środka smarnego, zbyt wysoki poziom środka smarnego, za mały luz łożyska, znaczący błąd okrągłości otworu obudowy, nierówna powierzchnia podparcia, źle dobrane lub zamontowane uszczelnienia, zużycie uszczelnień, niewyważenie.
<b>zbyt głośna praca</b>	źle dobrany smar, za niski poziom środka smarnego, zbyt mały luz łożyska, zanieczyszczenia (brud, piasek, wióry), przedostanie się wody, kwasu, farby (środowisko agresywne), znaczący błąd okrągłości otworu obudowy, źle dobrane lub zamontowane uszczelnienia, zużycie uszczelnień, niewyważenie, spłaszczenia elementów tocznych, odkształcenia wału i pierścieni łożysk, błędy montażu, drgania.
<b>skrócony okres trwałości eksploatacyjnej – częste wymiany</b>	źle dobrany smar, za niski poziom środka smarnego, zbyt mały luz łożyska, zanieczyszczenia (brud, piasek, wióry), przedostanie się wody, kwasu, farby (środowisko agresywne), znaczący błąd okrągłości otworu obudowy, przepływ powietrza, duży ubytek środka smarnego, niewyważenie, nierównomierne obciążenie łożyska, skrzywienie wału, odkształcenia pierścieni, źle dobrane lub zamontowane uszczelnienia, zużycie uszczelnień, błędy montażu.
<b>drgania</b>	zanieczyszczenia (brud, piasek, wióry), przedostanie się wody, kwasu, farby (środowisko agresywne), znaczący błąd okrągłości otworu obudowy, niewyważenie, spłaszczenia elementów tocznych, nierównomierne obciążenie łożyska, odkształcenia wału i pierścieni łożysk, błędy montażu, zbyt duży luz roboczy, drgania maszyny.
<b>zmniejszona moc nominalna maszyny</b>	zbyt mały luz łożyska, zanieczyszczenia (brud, piasek, wióry), przedostanie się wody, kwasu, farby (środowisko agresywne), niewyważenie, spłaszczenia elementów tocznych, nierównomierne obciążenie łożyska, odkształcenia wału i pierścieni łożysk, błędy montażu, drgania.

<b>zbyt duże luzy osadzenia łożyska</b>	zbyt mała średnica wału.
<b>utrudnienia w obrotach wału</b>	źle dobrany smar, za niski lub zbyt wysoki poziom środka smarnego, zbyt mały luz łożyska, zanieczyszczenia (brud, piasek, wióry), przedostanie się wody, kwasu, farby (środowisko agresywne), znaczący błąd okrągłości otworu obudowy, źle dobrane lub zamontowane uszczelnienia, zużycie uszczelnień.

## 2. Hałas oraz drgania w łożysku

W maszynach i urządzeniach stosowane są łożyska ślizgowe oraz toczne.

Hałas w łożysku ślizgowym powstaje głównie na skutek tarcia między powierzchnią czopa a powierzchnią panewki. Tarcie to zależy od wielu parametrów, a przede wszystkim od rodzaju i jakości smarowania. Niedostateczne smarowanie powoduje powstawanie tarcia półsuchego, a nawet suchego oraz nadmierne zużycie się łożyska. W tym przypadku powstają nadmierne luzy, które wywołują drgania typu uderzeniowego, lub powstawanie efektów żyroskopowych.

Znacznie hałaśliwsze od łożysk ślizgowych są łożyska toczne. Podstawową przyczyną hałasu łożyskowego są zjawiska dynamiczne w węzłach łożyskowych, pochodzące w głównej mierze od wałów, na których osadzone są łożyska. Również same łożyska toczne są źródłami dużej liczby okresowych i nieokresowych impulsów dynamicznych, co z kolei wpływa na poziom hałasu emitowanego przez łożysko.

Poziom hałasu łożysk tocznych zależy więc od wielu czynników, wśród których wymienić można:

- a. Parametry konstrukcyjne i technologiczne łożyska, do których zaliczyć można: wymiary łożyska, średnicę i rodzaj elementów tocznych, klasa dokładności, początkowe luzy radialne, konstrukcja kół, konstrukcja i materiał koszyka separatora, liczba elementów tocznych, prędkość obrotowa. Dla przykładu można podać, że łożyska rolkowe mają poziom hałasu większy od  $1 \div 3$  dB w porównaniu z łożyskami kulkowymi.
- b. Parametry wykonawcze i montażowe, do których zaliczyć można: dokładność wykonania, odchylenie od prawidłowego kształtu bieżni, pierścieni i elementów tocznych, wadliwy montaż, niewspółosiowe ustawienie. Na podstawie badań wielu autorów uważa, że najmniejszy Haas emitowany będzie przy wartościach luzu promieniowego leżącego w przedziale  $10 \div 20$   $\mu\text{m}$ .
- c. Parametry eksploatacyjne, jak np. odpowiednia konstrukcja, niedopuszczenie do zanieczyszczenia.

Podstawowy wpływ na głośność łożysk mają jednak parametry technologiczne i wykonawcze. Odchyłki wymiarów i kształtu powodują powstawanie niskoczęstotliwościowych widm hałasu.

Dozór łożysk w czasie pracy ogranicza się do obserwowania temperatury łożyska, kontroli działania systemu smarowania i sprawdzania prawidłowości ruchu przez nasłuchiwanie. Nawet najmniejsze uszkodzenie łożyska wywołuje zmianę wydawanego przez nie dźwięku, który powinien być sygnałem do dokładnej kontroli stanu łożyska. Często zmianie dźwięku towarzyszy wzrost temperatury i obydwa te czynniki na ogół wskazująca zużycie łożyska lub środka smarującego.

Dokładną kontrolę stanu łożyska można wykonać specjalnymi przyrządami działającymi na zasadzie pomiaru przyspieszenia drgań w paśmie  $20 \div 40$  kHz, wywołanych toceniem się części tocznej po bieżniach. Pomiar w tym paśmie częstotliwości eliminuje wpływ zakłóceń pochodzących od innych elementów maszyny.

Przy tocznie się po sobie chropowatych powierzchni każde zderzenie ich nierówności wywołuje impuls drganiowy. W przypadku nie uszkodzonego łożyska ciągle zderzenia chropowatości tworzą tzn. dywanową wartość przyspieszenia, natomiast spotkanie się powierzchni w miejscu nawet najmniejszego uszkodzenia powoduje znacznie większy impuls przyspieszenia. Działanie przyrządów tego rodzaju polega na porównaniu szczytowej wartości przyspieszenia z wartością średnią oraz na pomiarze jednej z tych wielkości. Informacje te umożliwiają bardzo dokładną ocenę stanu łożyska. Gdy stosunek przyspieszenia szczytowego i średniego przekracza  $15 \div 20$ , łożysko należy traktować jako uszkodzone; również gdy wartość średnia przekracza znacznie wartość odpowiadającą rozmiarowi łożyska i jego prędkości obrotowej, łożysko należy traktować jako uszkodzone.

O stanie łożyska i ewentualnie uszczelnienia można sądzić na podstawie wyglądu środka smarującego przy jego wymianie. Duża zawartość startych cząstek stali lub większe odpryski mogą wskazywać na powstanie uszkodzenia łożyska, a istotne ściemnienie smaru lub brudny osad świadczą o uszkodzeniu uszczelniania.

Łożysko podejrzane o uszkodzenie przed ponownym uruchomieniem powinno być dokładnie umyte i sprawdzone pod kątem występowania uszkodzeń.

#### **Literatura:**

- [1] Krzemiński-Freda H.: "Łożyska toczne", PWN Warszawa 1989.
- [2] Osiński Z., Bajon W., Szucki T.: "Podstawy konstrukcji maszyn", PWN Warszawa 1986.
- [3] Engel Z.: „Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem”, PWN Warszawa 1993.
- [4] <http://pcws.ia.polsl.pl/bearings/index.php?action=teoria03>
- [5] [http://maintenance.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=91](http://maintenance.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=91)

## WZBUDZANIE DRGAŃ PRZEZ ŁOŻYSKA TOCZNE

Uszkodzenie pewnych elementów łożyska tocznego może doprowadzić do wzrostu poziomu hałasu wytwarzanego podczas jego pracy, a w konsekwencji do ogólnego wzrostu poziomu hałasu przekładni. Znajomość podstawowych częstotliwości związanych z pracą łożyska pozwala na poprawną analizę oraz interpretację widma hałasu lub widma drgań przekładni zębatej.

Częstotliwości drgań generowanych przez łożyska zależą głównie od rodzaju niedokładności kształtu poszczególnych elementów tego łożyska. Prędkość obrotowa zespołu elementów tocznych łożyska wynosi:

$$n_T = n_w \cdot \frac{r_w}{r_w + r_z} \text{ obr/min} \quad (4.5)$$

gdzie:

$n_T$  - prędkość obrotowa zespołu elementów tocznych łożyska w obr/min,  
 $r_w$  - promień bieżni wewnętrznej w mm,  
 $r_z$  - promień bieżni zewnętrznej w mm,  
 $n_w$  - prędkość obrotowa bieżni wewnętrznej lub wału w obr/min,

natomiast prędkość obrotowa elementu tocznego:

$$n_t = \frac{r_z}{r_t} n_T \text{ obr/min} \quad (4.6)$$

gdzie:

$n_t$  - prędkość obrotowa elementu tocznego w obr/min,  
 $r_t$  - promień elementu tocznego w mm.

W przypadku pojawienia się najmniejszej niesymetryczności lub mimośrodowości, w hałasie łożyska wystąpi częstotliwość podstawowa, której wartość wyniesie:

$$f_0 = \frac{n_w}{60} \text{ Hz} \quad (4.7)$$

Występowanie częstotliwości określonej wzorem (4.8), odpowiadającej obrotowi zespołu elementów tocznych, wskazuje na pewną nieregularność elementu tocznego lub kosza:

$$f_T = \frac{n_T}{60} \text{ Hz} \quad (4.8)$$

natomiast występowanie częstotliwości:

$$f_t = \frac{n_t}{60} \text{ Hz} \quad (4.9)$$

odpowiadającej obrotowi pojedynczego elementu tocznego, wskazuje na istnienie wgniecenia lub chropowatości na powierzchni takiego elementu. Ponieważ nierówność taka może uderzać na przemian w zewnętrzną i wewnętrzną bieżnię, to częstotliwość podstawowa tych uderzeń wyniesi:

$$f_t' = 2 \cdot f_t \text{ Hz} \quad (4.10)$$

W przypadku, gdy nierówność (wgniecenie lub chropowatość) występuje na powierzchni bieżni wewnętrznej, to częstotliwość podstawowa typowa dla takiego przypadku wyniesie:

$$f_w = \frac{n_w - n_T}{60 \cdot m} \text{ Hz} \quad (4.11)$$

Gdy nierówność ta występuje na powierzchni bieżni zewnętrznej, to częstotliwość ta wyniesi:

$$f_z = \frac{n_t}{60 \cdot m} \text{ Hz} \quad (4.12)$$

gdzie:  $m$  - liczba kulek w łożysku.

Jak widać z powyższych zależności łożysko toczne może mieć (nie uwzględniając drgań harmonicznyc) sześć podstawowych częstotliwości pobudzenia. Amplitudy odpowiadające poszczególnym częstotliwościom są przeważnie małe, jednakże gdy częstotliwość drgań własnych obudowy samego łożyska lub korpusu zbliżona jest do jednej z nich (lub jednej z harmonicznyc), może nastąpić zwiększenie amplitudy z równoczesnym podwyższeniem poziomu hałasu, przede wszystkim w tym właśnie pasmie częstotliwości.