

Uszkodzenia łożysk i ich przyczyny

Część I

Łożyska toczne są jednymi z najważniejszych elementów w maszynach. Kiedy łożysko ulega awarii, dochodzi do przestoju maszyny, który może być kosztowny. Wybór odpowiedniego łożyska do określonej aplikacji jest tylko pierwszym krokiem w kierunku niezawodnej pracy urządzenia. Parametry robocze maszyny, takie jak obciążenia prędkości, temperatura, dokładność pracy oraz wymagania operacyjne, są potrzebne do wybrania najbardziej odpowiedniego rodzaju i wielkości łożyska.

Przewidywana obliczeniowa trwałość każdego łożyska jest wyznaczana na podstawie ośmiu założeń:

- Łożysko jest wysokiej jakości i nie ma defektów fabrycznych.
- W danej aplikacji znajduje się właściwe łożysko.
- Wymiary elementów powiązanych z łożyskiem, takich jak gniazdo na wale i w oprawie, są prawidłowe.
- Łożysko jest prawidłowo zamontowane.
- Właściwy środek smary, w odpowiedniej ilości, jest na czas dostarczany do łożyska.
- Węzeł łożyskowy jest we właściwy sposób zabezpieczony (uszczelniony).
- Łożyskowanie jest dopasowane do warunków pracy.
- Prowadzona jest odpowiednia obsługa konserwacyjna.

Jeżeli wszystkie te warunki zostaną spełnione, łożysko powinno osiągać swą trwałość obliczeniową. Niestety, jest to możliwe raczej hipotetycznie. Często występują okoliczności, które uniemożliwiają uzyskanie „idealnych” warunków pracy.

Powszechnym błędem, jaki popełniają użytkownicy, jest przyjęcie założenia, że skoro łożysko uległo uszkodzeniu, to nie miało wystarczającej nośności. Przeprowadza się kosztowne modernizacje mające na celu zwiększenie nośności łożyska, a i tak znów dochodzi do jego przedwczesnej awarii.

Zidentyfikowanie przyczyny pierwotnej uszkodzenia łożyska jest pierwszym krokiem do uzyskania niezawodnej pracy urządzeń. Jednym z najtrudniejszych zadań jest określenie początkowych sympto-

mów uszkodzenia (przyczyny pierwotnej) i odfiltrowanie objawów wtórnych, które powstały w wyniku uszkodzenia pierwotnego.

Ślady współpracy

Elementy nowego łożyska mają wymiary wykonane z najwyższą dokładnością, w odchyłkach wynoszących czasami ułamki mikrometra. Wymiary są wielokrotnie sprawdzane podczas produkcji. Obszary, które były szlifowane, takie jak powierzchnie pierścienia wewnętrznego i zewnętrznego oraz elementów tocznych, są błyszczące.

Podczas badania łożyska, które pracowało przez jakiś czas, można zaobserwować zmiany, takie jak:

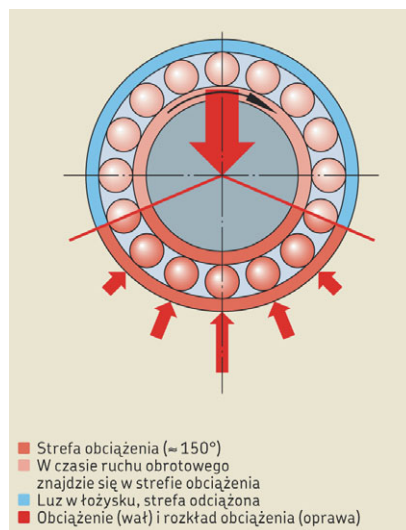
- matowe obszary na bieżniach i elementach tocznych, czasami powierzchnie są bardzo połyskujące,
- przebarwienia na powierzchni otworu pierścienia zewnętrznego i na powierzchni zewnętrznej pierścienia zewnętrznego,
- zużycie koszyka,
- korozja cierna na powierzchni otworu pierścienia zewnętrznego lub na powierzchni zewnętrznej pierścienia zewnętrznego.

Jeżeli zużycie lub uszkodzenie łożyska jest niewielkie, jego dokładne badanie może dostarczyć informacji o tym, co się działo z łożyskiem podczas pracy.

Podczas inspekcji kluczowym zagadnieniem jest znalezienie charakterystycznych „wzorów” – śladów współpracy. Wzór może być „normalny” lub może wskazywać na występowanie problemu. Ślady współpracy często umożliwiają identyfikację pierwotnej przyczyny problemu.

Ślady współpracy wynikające z normalnych warunków pracy

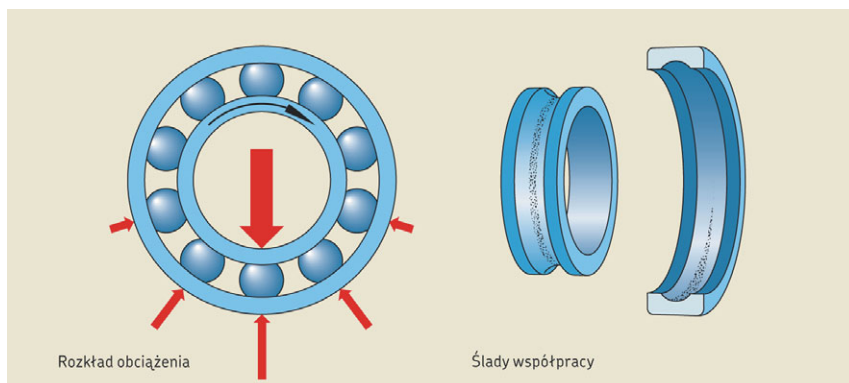
Na rys. 1 i 2 pokazano, jak stałe obciążenie promieniowe jednokierunkowe przyłożone do łożyska, w którym wiruje pierścień wewnętrzny, jest rozłożone na nieruchomym pierścieniu zewnętrznym przez elementy toczne. Duża strzałka na pozycji godziny 12 przedstawia działające obciążenie, a seria małych



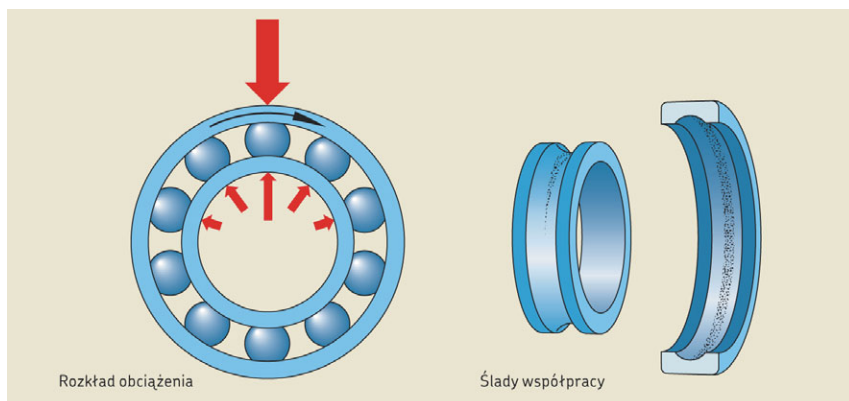
Rys. 1

strzałek od pozycji godziny 4 do pozycji godziny 8 pokazuje, jak obciążenie jest rozdzielone lub przenoszone przez elementy toczne w łożysku. Ponieważ obraca się pierścień wewnętrzny, każdy punkt na tym pierścieniu wchodzi do strefy obciążenia. W rezultacie na całym obwodzie bieżni pierścienia wewnętrznego występuje pasek o jednokierunkowej szerokości położony pośrodku bieżni. Jest on określany jako strefa obciążenia wirującego pierścienia wewnętrznego. Pierścień zewnętrzny jest nieruchomy, dlatego strefa obciążenia jest ograniczona do miejsca, gdzie elementy toczne przenoszą obciążenie. Ten obszar to strefa obciążenia nieruchomego pierścienia zewnętrznego. Rozkład obciążenia pierścienia zewnętrznego zmienia się. Największe obciążenie występuje w miejscu zgodnym z kierunkiem działania obciążenia i zmniejszają się poza tym punktem. W większości aplikacji strefa obciążenia wynosi około 150°.

Na rys. 3 zilustrowano, jak stałe obciążenie promieniowe jednokierunkowe przyłożone do łożyska, w którym wiruje pierścień zewnętrzny, jest rozłożone na nieruchomym pierścieniu wewnętrznym przez elementy toczne. Ponieważ pierścień zewnętrzny obraca się, każdy jego punkt wchodzi do strefy obciążenia. W rezultacie na całym obwodzie bieżni pierścienia zewnętrznego znajduje się pasek o jednokierunkowej szerokości położony na środku bieżni. Rozkład obciążenia



Rys. 2



Rys. 3

w strefie obciążenia pierścienia wewnętrznego zmienia się. Największe naciski występują w miejscu zgodnym z kierunkiem działania obciążenia i zmniejszają się poza tym punktem. W większości aplikacji strefa obciążenia wynosi około 150° .

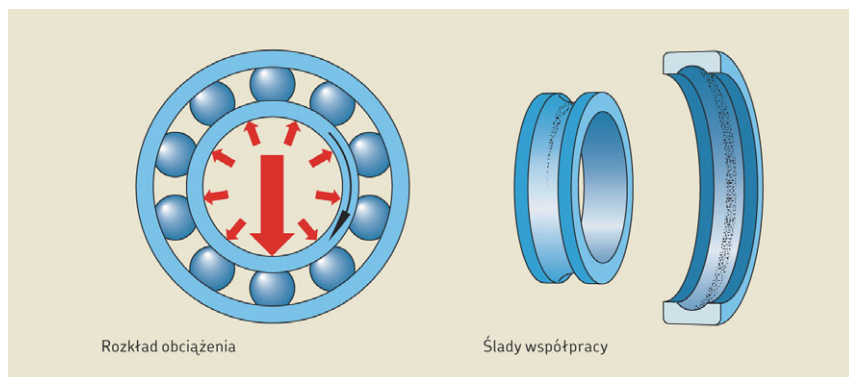
Takie ślady współpracy pojawiają się także, gdy pierścień wewnętrzny wiruje w fazie z obciążeniem (tj., gdy występuje niewyważenie lub obciążenie mimośrodowe), a pierścień zewnętrzny jest nieruchomy. Mimo że pierścień wewnętrzny obraca się, obciążenie jest nieruchome względem niego, natomiast obciążenie wiruje względem pozostającego w spoczynku pierścienia zewnętrznego (rys. 4).

Efekt działania stałego obciążenia osiowego jednokierunkowego na łożysko kulkowe zwykłe pokazano na rys. 5. Na całym obwodzie bieżni pierścienia wykonującego ruch obrotowy będzie pasek przesunięty poprzecznie względem środka bieżni. Na bieżni pierścienia nieruchomego pasek będzie przesunięty poprzecznie względem środka bieżni w przeciwną stronę niż

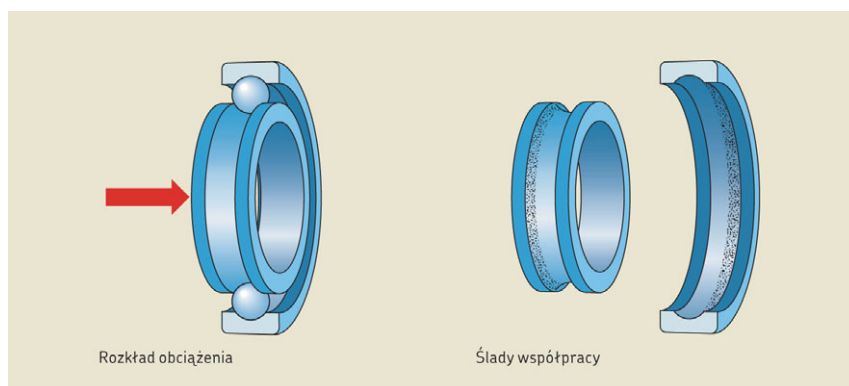
w przypadku pierścienia wirującego. Przy odpowiedniej wielkości obciążenia osiowego pasek na pierścieniu stacjonarnym będzie na całym obwodzie bieżni.

Na rys. 6 pokazano skutek działania obciążenia złożonego – połączenia stałego obciążenia promieniowego jednokierunkowego i stałego obciążenia osiowego jednokierunkowego na łożysko kulkowe zwykłe, w którym wiruje pierścień wewnętrzny, a pierścień zewnętrzny jest nieruchomy.

Strefa obciążenia na całym obwodzie bieżni pierścienia wewnętrznego jest przesunięta poprzecznie względem środka bieżni. Strefa obciążenia pierścienia zewnętrznego jest przesunięta poprzecznie względem środka bieżni w przeciwnym kierunku. Długość strefy obciążenia jest większa niż w przypadku, gdyby na łożysko działało tylko obciążenie promieniowe, ale nie musi ona występować na całym obwodzie pierścienia. W przypadku łożysk dwurzędowych obciążenia złożone będą powodowały powstawanie stref obciążenia o nierównej długości. Rząd przenoszący obciąż-



Rys. 4



Rys. 5

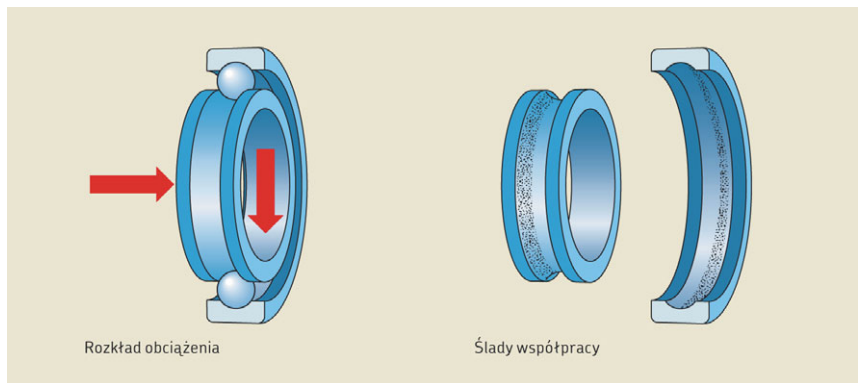
zenie osiowe będzie miał dłuższą strefę obciążenia na pierścieniu nieruchomym. Jeżeli obciążenie osiowe jest wystarczająco duże, jeden rząd elementów tocznych może zostać całkowicie odciążony.

Pod działaniem obciążenia ściśle promieniowego jedynie mała część (około 150°) pierścienia zewnętrznego będzie miała ślady współpracy. Pod działaniem obciążenia ściśle osiowego, na całym obwodzie bieżni pierścienia zewnętrznego będą ślady współpracy przesunięte poprzecznie względem środka bieżni. Pod działaniem obciążenia złożonego, ślad współpracy znajdzie się pomiędzy śladami współpracy dla przypadku obciążenia ściśle promieniowego i ściśle osiowego, w zależności od wielkości obciążenia promieniowego względem obciążenia osiowego.

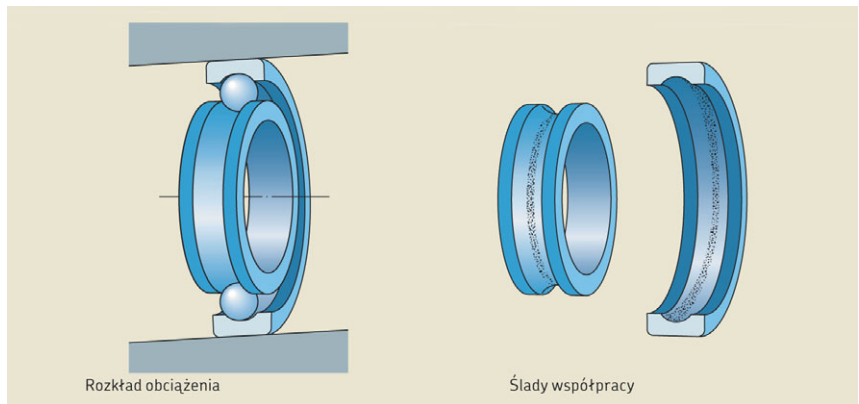
Ślady współpracy wynikające z nieprawidłowych warunków pracy

Na rys. 7 przedstawiono strefy obciążenia, które powstały na skutek działania stałego obciążenia promieniowego jednokierunkowego, gdy nieruchomy pierścień zewnętrzny jest ustawiony niewspółosiowo względem wirującego pierścienia wewnętrznego. Na całym obwodzie bieżni pierścienia wewnętrznego będzie pasek o jednakowej szerokości położony na środku bieżni. Na bieżni pierścienia zewnętrznego będzie pasek idący od jednego brzegu pierścienia zewnętrznego do drugiego. Wygląd śladu współpracy i jego długość zależą od wielkości niewspółosiowości, obciążenia i luzu w łożysku. Pasek może znajdować się gdziekolwiek na bieżni – na obszarze od 150° do 360° . Taka sytuacja może wystąpić, gdy wał ugina się lub kiedy łożyska są zamontowane w oddzielnych oprawkach, których otwory nie są współśrodkowe.

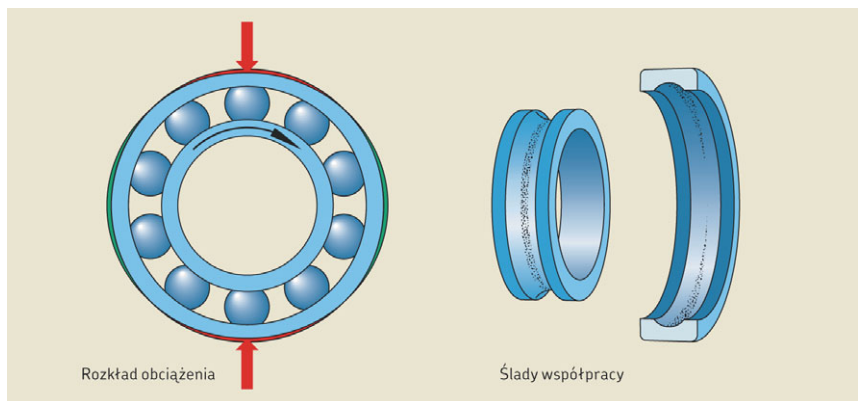
Strefy obciążenia, które powstały na skutek działania stałego obciążenia promieniowego jednokierunkowego, gdy nieruchomy pierścień zewnętrzny jest zaciśnięty promieniowo (zaciśnięcie spowodowane owalnością), ilustruje rys. 8. W takich warunkach, na całym obwodzie bieżni pierścienia wewnętrznego



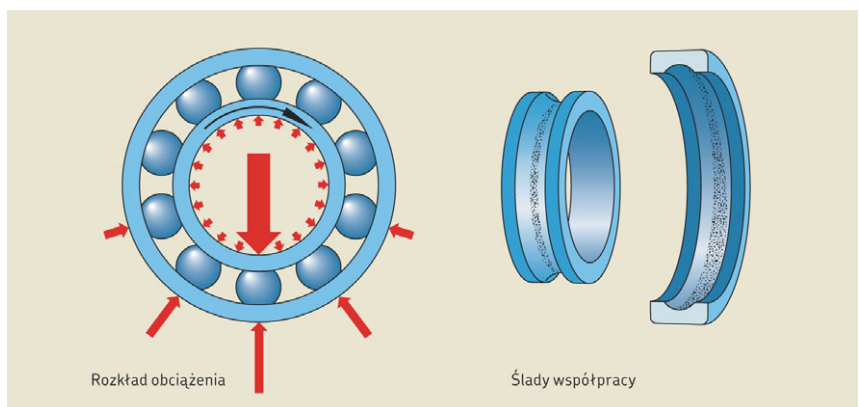
Rys. 6



Rys. 7



Rys. 8



Rys. 9

nego będzie pasek o jednakowej szerokości i położony na środku bieżni. Na pierścieniu zewnętrznym będą dwie strefy obciążenia położone na przeciwległych obszarach bieżni. Do zaciśnięcia promieniowego pierścienia zewnętrznego dochodzi z jednego z następujących powodów:

- Oprawa jest zamontowana na niepłaskiej powierzchni.
- Dwie połówki oprawy dzielonej nie są do siebie dopasowane.
- Gniazdo w oprawie jest nieokrągłe (owalne) z powodu błędów produkcyjnych, a w takim przypadku możliwe jest występowanie dwóch lub więcej stref obciążenia.

Występowanie kilku stref obciążenia znacznie zwiększa siły wewnętrzne działające w łożysku i pod-

nosi temperaturę roboczą, co prowadzi do przedwczesnego uszkodzenia łożyska.

Na rys. 9 pokazano strefy obciążenia w łożysku z wewnętrznym napięciem wstępnym, przenoszącym stałe obciążenie promieniowe jednokierunkowe, kiedy obraca się pierścień wewnętrzny, a pierścień zewnętrzny jest nieruchomy. W takich warunkach, na całym obwodzie bieżni pierścienia wewnętrznego będzie pasek o jednakowej szerokości położony na środku bieżni. Pierścień zewnętrzny także będzie miał strefę obciążenia 360°, ale ślad współpracy zwykle będzie szerszy w miejscu, gdzie dochodzi do złożenia przyłożonego obciążenia i wewnętrznego napięcia wstępnego. Taka sytuacja może być re-

zultatem zbyt ciasnego pasowania na wale i/lub w oprawie. Jeżeli wcisk jest nadmierny, łożysko może zostać obciążone wstępnie siłami wewnętrznymi wywołanymi przez ściśnięcie elementów tocznych między dwoma pierścieniami łożyska. Do takiego samego problemu może prowadzić zbyt mały luz początkowy łożyska. Inną możliwą przyczyną wystąpienia takich warunków jest nadmierna różnica temperatur między wałem a oprawą. To także może znacząco zredukować luz wewnętrzny w łożysku. Do zmniejszenia luzu mogą przyczynić się także materiały wału i oprawy o różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej.

SKF Polska S.A.