

jem. Po rozgrzaniu łożyska smar wypływa na powierzchnię panwi, a po obniżeniu temperatury cofa się w głąb porów.

Poza stopami metali na panewki łożysk wykorzystuje się również tworzywa sztuczne (**polimery**). Są one często stosowane ze względu na korzystne właściwości ślizgowe, takie jak: mały współczynnik tarcia suchego, zdolność samodocierania, odporność na ścieranie, dobre tłumienie drgań, cichobieżność, odporność na korozję i łatwość kształtowania. Wadami polimerów są przede wszystkim słabe właściwości mechaniczne, mała przewodność cieplna i duża rozszerzalność, a także zmiana wymiarów wskutek zmian warunków otoczenia. Właściwości polimerów poprawia się, stosując różne metody ich modyfikacji.

Łożyska toczne

Specyfika pracy łożyska tocznego polega na prawie punktowym styku elementu tocznego z bieżnią. Powstają wtedy bardzo duże naciski jednostkowe, czyli naprężenia stykowe na powierzchni materiału. Na łożyska toczne jest więc wymagany materiał twardy i o dużej odporności na ścieranie. Cechy takie wykazują **stale łożyskowe**, spośród których najczęściej są stosowane dwa gatunki: **100Cr6** (dawniej ŁH15) oraz **100CrMnSi6-4** (poprzednio ŁH15SG). Skład chemiczny tych stali zgodnie z normą PN-EN ISO 683-17:2004 (dotyczącą stali na łożyska kulkowe i wałeczkowe) jest następujący: węgiel (C) do ok. 1% (nadaje dużą twardość i odporność na ścieranie), chrom (Cr) ok. 1,5% (nadaje wymaganą hartowność elementom tocznym). Stale łożyskowe mają też ściśle określoną zawartość składników stopowych i zanieczyszczeń oraz odpowiednią strukturę. Zazwyczaj stal ta jest poddawana obróbce cieplnej, dzięki której uzyskuje twardość od 58 do 65 HRC. Stale węglowo-chromowe nie są odporne na korozję. Najbardziej powszechnymi rodzajami stali nierdzewnych, z których wykonuje się pierścienie łożysk i elementy toczne, są stale o dużej zawartości chromu: X65Cr14 oraz X105CrMo17.

Coraz więcej firm produkujących łożyska toczne wykorzystuje w nich nowsze rozwiązania – **materiały ceramiczne**. Materiałem stosowanym powszechnie na pierścienie łożyskowe i elementy toczne jest azotek krzemu klasy łożyskowej. Składa się on z drobnych, wydłużonych ziaren beta-azotku krzemu, rozłożonych w masie szklanej. Materiał ten charakteryzuje się korzystnymi właściwościami istotnymi dla łożysk tocznych, takimi jak: duża twardość, mała gęstość, mała rozszerzalność cieplna, duża rezystywność elektryczna, mała stała dielektryczna i obojętność na działanie pola magnetycznego.

3.8.3. Dobór i obliczanie łożysk

Obliczanie łożysk ślizgowych

Polega ono na wyznaczeniu wymiarów łożyska z uwagi na warunki wytrzymałościowe: naciski powierzchniowe i zginanie. Dodatkowo łożyska ślizgowe sprawdza się na rozgrzewanie. Sposób obliczania jest odmienny dla łożysk poprzecznych i wzdłużnych.

Obliczanie łożysk ślizgowych poprzecznych. Nacisk powierzchniowy p na styku czopa i panewki

$$p = \frac{F}{S} \leq k_o \quad (3.130)$$

gdzie:

F – obciążenie wywołujące nacisk [N],

k_o – dopuszczalny nacisk powierzchniowy [MPa],

S – pole powierzchni przekroju, w którym są rozważane naprężenia [mm²].

Dla czopa pole powierzchni przekroju przyjmuje się jako rzut czopa na powierzchnię prostopadłą do kierunku działania siły i oblicza ze wzoru

$$S = d \cdot l \quad (3.131)$$

gdzie:

d – średnica czopa,

l – długość czopa.

Naprężenia zginające czop łożyska

$$\sigma_g = \frac{M_g}{W_x} \leq k_{go} \quad (3.132)$$

gdzie:

M_g – moment zginający działający na czop,

W_x – wskaźnik wytrzymałości przekroju poprzecznego czopa na zginanie.

Zakładamy, że zbliżamy się w obliczeniach do wartości granicznych, a wtedy obie nierówności możemy potraktować jako równości i po podzieleniu ich stronami otrzymujemy

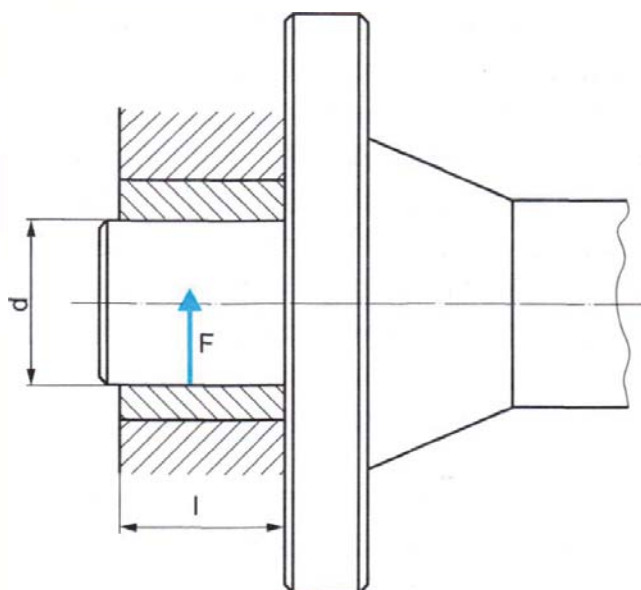
$$\frac{l^2}{d^2} = \frac{0,2k_{go}}{k_o} \quad (3.133)$$

Wprowadzamy nową wielkość $\lambda = \frac{l}{d}$, przekształcamy równanie i uzyskujemy

zależność

$$\lambda \approx 0,45 \sqrt{\frac{k_{go}}{k_o}} \quad (3.134)$$

Z uwagi na materiał panewki i czopa oraz budowę łożyska przyjmujemy



Rys. 3.109. Schemat obciążenia łożyska poprzecznego

$\lambda = 0,3 \dots 4$ (najczęściej $\lambda = 1,6$)

Porównując wzory służące do obliczeń na naciski powierzchniowe oraz zależność λ otrzymujemy wzór na średnicę czopa

$$d = \sqrt{\frac{F}{\lambda \cdot k_o}} \quad (3.135)$$

Ponadto łożysko ślizgowe podczas pracy nagrzewa się, więc trzeba sprawdzić, czy nadmiar ciepła nie spowoduje jego uszkodzenia. Musi być spełniony warunek

$$p_{sr} \cdot v \leq (p_{sr} \cdot v)_{dop} \quad (3.136)$$

gdzie:

p_{sr} – średni nacisk powierzchniowy w łożysku [MPa],

v – prędkość na obwodzie czopa [m/s], zależna od średnicy czopa oraz prędkości obrotowej,

$p_{sr} \cdot v$ – umowna miara ciepła wytwarzanego w łożysku w wyniku tarcia $\frac{\text{MN}}{\text{m} \cdot \text{s}}$.

Przykładowe dopuszczalne wartości parametru $(p_{sr} \cdot v)_{dop}$:

– dla łożysk silników spalinowych $(p_{sr} \cdot v)_{dop} = 1 \dots 2 \frac{\text{MN}}{\text{m} \cdot \text{s}}$,

– dla łożysk prądnic i silników elektrycznych $(p_{sr} \cdot v)_{dop} = 7 \dots 12 \frac{\text{MN}}{\text{m} \cdot \text{s}}$.

Obliczanie łożysk ślizgowych wzdłużnych. Łożyska tego rodzaju oblicza się tylko na naciski powierzchniowe i sprawdza na nagrzewanie. Nacisk powierzchniowy w łożysku oblicza się za pomocą wzoru

$$p_{sr} = \frac{F}{S} \leq k_o \quad (3.137)$$

gdzie:

F – obciążenie łożyska,

S – pole powierzchni pracującej łożyska.

Na przykład dla łożyska z rysunku 3.110:

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.138)$$

Przy sprawdzaniu łożyska na nagrzewanie do obliczenia prędkości v wirującego czopa przyjmuje się średnią arytmetyczną średnic powierzchni pracującej, opisaną wzorem

$$d_{sr} = \frac{D + d}{2} \quad (3.139)$$

Zależność warunku na nagrzewanie jest taka sama jak dla łożyska poprzecznego – wzór (3.136).

Dobór łożysk tocznych

Dobór łożysk tocznych polega na wyborze określonego typu łożyska oraz ustaleniu jego wymiarów w zależności od warunków pracy oraz konstrukcji urządzenia, w którym będzie zamontowane. Dla każdego łożyska ujętego w katalogu łożysk podano następujące podstawowe parametry:

- **nośność ruchową C** , czyli wartość obciążenia przenieszonego przez łożysko do pierwszych oznak zniszczenia, które mogą zacząć się pojawiać po 1 milionie obrotów (ok. 500 h pracy);
- **nośność spoczynkową C_0** , czyli dopuszczalne obciążenie łożyska wywołujące odkształcenie plastyczne nie większe niż 0,0001 średnicy elementu tocznego nie obracającego się lub obracającego się bardzo wolno (do 10 obr/min);
- **maksymalną prędkość obrotową**.

Przy doborze głównym zadaniem jest wybranie takiego łożyska tocznego, które spełni rzeczywiste warunki pracy i eksploatacji. Żądana trwałość łożyska L (podawana w milionach obrotów) jest opisana zależnością

$$L = \left(\frac{C}{F} \right)^p \quad (3.140)$$

gdzie:

C – nośność ruchowa łożyska z katalogu łożysk tocznych [daN],

F – obciążenie równoważne (zastępcze) łożyska [daN],

p – wykładnik potęgi; dla łożysk kulkowych $p = 3$, dla łożysk wałeczkowych $p = 10/3$.

Wartość trwałości można podawać również w godzinach pracy łożyska L_h (tzw. trwałość godzinowa); wtedy należy zastosować wzór

$$L_h = \frac{10^6 L}{60n} = \frac{16\,660}{n} \left(\frac{C}{F} \right)^p \quad (3.141)$$

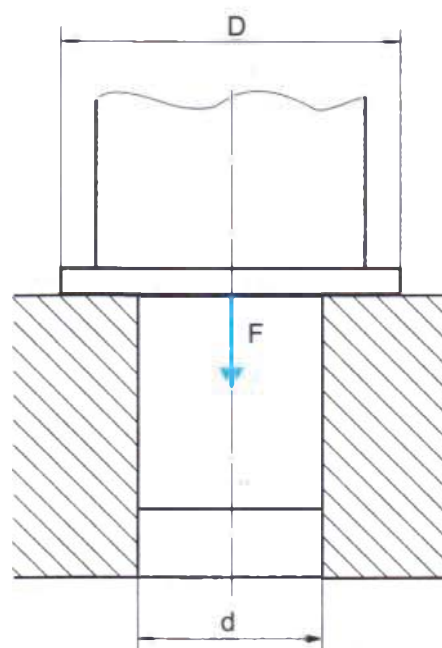
gdzie n – prędkość obrotowa łożyska [obr/min].

Najczęściej na łożysko działają siły zarówno poprzeczne, jak i wzdłużne. Podczas doboru łożyska wykorzystujemy jedną wielkość, zwaną obciążeniem równoważnym (zastępczym) F , podawanym zazwyczaj w daN, które zastępuje działanie wszystkich sił. Wielkość ta jest określona równaniem

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (3.142)$$

gdzie:

X – współczynnik obciążenia promieniowego,



Rys. 3.110. Schemat obciążenia łożyska wzdłużnego

F_r – obciążenie poprzeczne (promieniowe) [daN],

Y – współczynnik obciążenia osiowego,

F_a – obciążenie wzdłużne (osiowe) [daN].

Wartości współczynników X oraz Y zależą od rodzaju łożyska i znajdują się w katalogu łożysk tocznych. Trzeba pamiętać, że nazwa „łożysko poprzeczne” oznacza łożysko przenoszące nie tylko obciążenie poprzeczne, lecz także częściowo siłę wzdłużną (oczywiście z przewagą obciążenia poprzecznego). Analogiczna sytuacja występuje w odniesieniu do łożysk wzdłużnych.

W katalogu łożysk tocznych podaje się wartość współczynnika e , który charakteryzuje konstrukcję łożyska pod względem zdolności do przenoszenia dodatkowych obciążeń. Współczynniki X i Y zależą od wartości stosunku sił F_a/F_r w porównaniu z wartością współczynnika e . Na przykład dla łożysk kulkowych zwykłych przy $F_a/C_o = 0,014...0,56$ wartość e wynosi $0,27...0,53$. Jeżeli $F_a/F_r \leq e$, to wartość obciążenia osiowego jest pomijalnie mała i wtedy współczynniki obciążenia przyjmują wartości $X = 1$ oraz $Y = 0$. Natomiast przy $F_a/F_r > e$ wartości X i Y odczytuje się z tabel i obciążenie zastępcze oblicza się według wzoru (3.141). Sposób doboru łożysk oraz wszelkie współczynniki i wzory niezbędne do obliczeń znajdują się w katalogu łożysk tocznych CBKŁT.

3.8.4. Oznaczanie łożysk na rysunkach technicznych

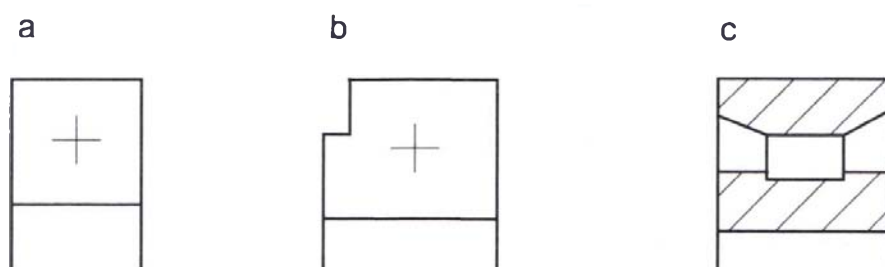
Łożyska ślizgowe rysuje się tak samo jak wałki i tulejki w przekroju. Ogólne zasady rysowania tych elementów opisano w pierwszej części podręcznika.

Łożyska toczne na rysunkach technicznych można przedstawiać umownie ogólnie lub szczegółowo.

Umownie w sposób ogólny (zgodnie z PN-EN ISO 8826-1) łożyska toczne można przedstawiać trzema sposobami:

- 1) bez pokazywania jakichkolwiek szczegółów (łożysko to kwadrat z krzyżykiem w środku) – rys. 3.111a;
- 2) z podaniem rzeczywistego zarysu przekroju poprzecznego łożyska, ale dalej tylko z krzyżykiem w środku – rys. 3.111b;
- 3) z pokazaniem zakreskowanych pól przekrojów pierścieni wewnętrznego i zewnętrznego łożyska; jest to sposób rzadko używany, przy czym pierścienie zaleca się kreskować w tym samym kierunku – rys. 3.111c.

Natomiast umownie szczegółowe przedstawienie (wg PN-EN ISO 8826-2) umożliwi rozpoznanie rodzaju łożyska tocznego za pomocą określonych sym-



Rys. 3.111. Umowne ogólne przedstawienie łożyska