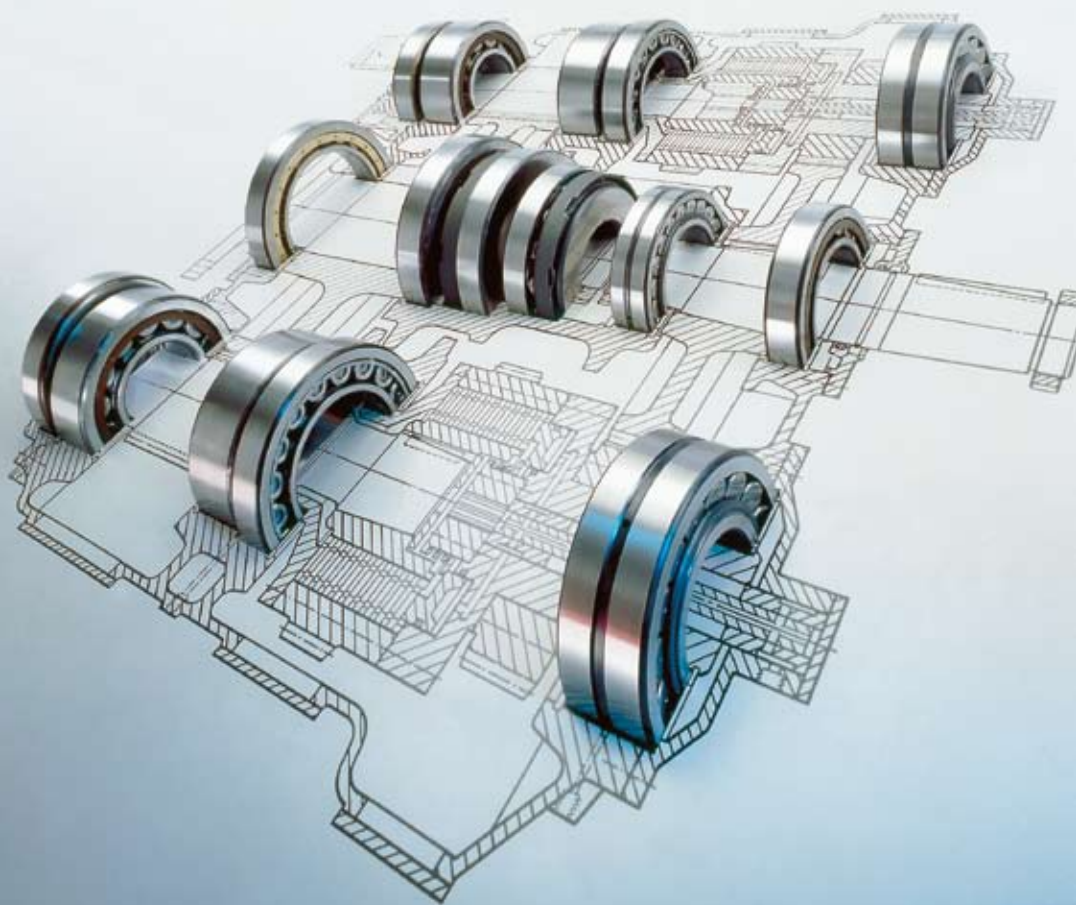




Konstrukcja łożyskowań

Układy łożysk	160
Węzły łożyskowe ustalające i swobodne	160
Węzły łożyskowe nastawne	162
Węzły łożyskowe pływające	162
Promieniowe osadzenie łożysk	164
Dobór pasowania	164
Zalecenia dotyczące pasowań	167
Tablice zalecanych pasowań	168
Tablice odchyłek granicznych pasowań	172
Pasowania dla wałów drażnionych	172
Dokładność wymiarów, kształtu i obrotu elementów współpracujących	194
Chropowatość powierzchni osadzenia łożysk	198
Powierzchnie bieżne na wałach i w oprawach	198
Ustalenie osiowe łożysk	199
Sposoby ustaleń	199
Wymiary związane z zabudową łożysk	202
Projektowanie elementów towarzyszących	204
Napięcie wstępne łożysk	206
Rodzaje napięcia wstępnego	206
Efekty napięcia wstępnego	208
Wyznaczenie siły napięcia wstępnego	208
Sposoby nastawiania	212
Napięcie wstępne za pomocą sprężyn	216
Zachowanie właściwego napięcia wstępnego	216
Łożyska i zespoły łożysk do napiętych wstępnie łożyskowań	217
Konstrukcja uszczelnienia	218
Rodzaje uszczelnień	218
Dobór rodzaju uszczelnienia	219
Uszczelnienia w łożysku	221
Uszczelnienia poza łożyskiem	223

Układy łożysk

Do łożyskowania obracającej się części maszyny, np. wału, wymagane są zwykle dwa łożyska, które w stosunku do nieruchomej części, np. oprawy, utrzymują i prowadzą część wirującą w kierunku promieniowym i osiowym. W zależności od zastosowania, obciążenia, wymaganej dokładności obrotu i uwarunkowań kosztowych łożyskowanie może składać się z

- węzłów łożyskowych ustalającego i swobodnego
- węzłów łożyskowych nastawnych lub
- węzłów łożyskowych „pływających”.

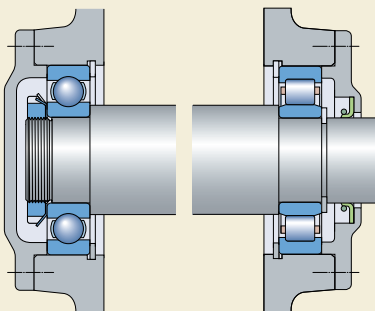
Łożyskowania składające się z pojedynczego łożyska zdolnego przenosić obciążenia promieniowe, osiowe i momenty wywrotne, jak np. w połączeniach przegubowych, nie zostały przedstawione w niniejszym katalogu. W przypadku tego typu łożyskowań prosimy kontaktować się z Działem Doradztwa Technicznego SKF.

Węzły łożyskowe ustalające i swobodne

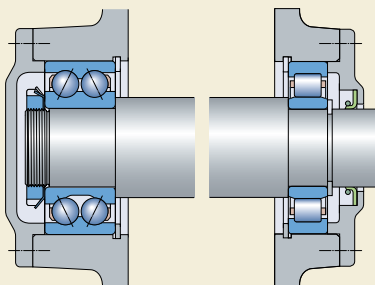
Łożysko ustalające na jednym końcu wału zapewnia promieniowe podparcie i jednocześnie ustala wał osiowo w obu kierunkach. Z tego powodu łożysko to musi być ustalone zarówno na wale, jak i w oprawie. Odpowiednimi łożyskami ustalającymi są łożyska poprzeczne, które mogą przejmować obciążenia złożone, np. łożyska kulkowe zwykłe, dwurzędowe lub parowane, jednorzędowe łożyska kulkowe skośne, łożyska kulkowe wahliwe, łożyska baryłkowe albo dopasowane pary łożysk stożkowych. Można też konstruować węzły łożyskowe kombinowane z oddzielnymi łożyskami do przejmowania obciążeń promieniowych i osiowych. Np. łożysko walcowe z jednym pierścieniem bez obrzeży, przejmujące obciążenia ściśle promieniowe, jest montowane obok łożyska kulkowego zwykłego, łożyska kulkowego skośnego jednorzędowego dwukierunkowego albo łożyska wzdłużnego dwukierunkowego, których zadaniem jest przejmowanie obciążeń osiowych, a tym samym ustalenie osiowo wału w obu kierunkach. Łożyska te (ustalające osiowo wał) powinny być luźno zabudowane w kierunku promieniowym w gnieździe oprawy.

Dla uniknięcia zakleszczania łożysk, uwarunkowanego np. rozszerzalnością cieplną wału,

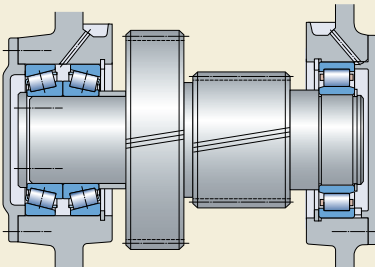
Rys. 1



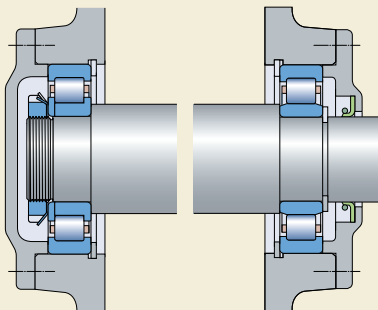
Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

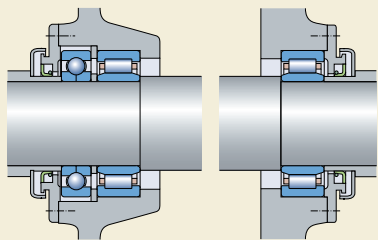


łożysko swobodne przenoszące tylko obciążenie promieniowe musi mieć możliwość przemieszczenia osiowego. To przemieszczenie osiowe musi być możliwe albo w samym łożysku, jak np. w łożyskach igiełkowych, łożyskach walcowych typu NU i N oraz łożyskach toroidalnych CARB, albo między jednym z pierścieni łożyska a jego miejscem osadzenia na wale lub w oprawie (zwykle w oprawie).

Spośród wielu kombinacji węzłów łożyskowych ustalającego i swobodnego poniżej zostały przedstawione najczęściej stosowane rozwiązania.

W przypadku łożyskowań o znacznej sztywności, z możliwością bardzo łatwego przemieszczenia osiowego w samym łożysku swobodnym, można zastosować następujące rozwiązania

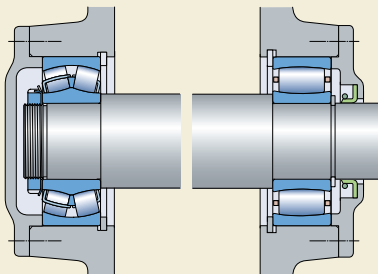
Rys. 5



- łożysko kulkowe zwykłe/łożysko walcowe (→ **rys. 1**)
- łożysko kulkowe skośne dwurzędowe/łożysko walcowe (→ **rys. 2**)
- dopasowane łożyska stożkowe jednorzędowe/łożysko walcowe (→ **rys. 3**)
- łożysko walcowe typu NUP/łożysko walcowe typu NU (→ **rys. 4**)
- łożysko walcowe typu NU i łożysko kulkowe skośne jednorzędowe dwukierunkowe/łożysko typu NU (→ **rys. 5**).

W powyższych rozwiązaniach niewspółosiowość kąta wału musi być ograniczona do minimum. Jeżeli nie można spełnić tego warunku, to należy zastosować kombinację łożysk samonastawnych, jak np.

Rys. 6



- łożysko kulkowe wahliwe/łożysko toroidalne CARB lub
- łożysko baryłkowe/łożysko toroidalne CARB (→ **rys. 6**).

Zdolność tych węzłów łożyskowych do kompensacji niewspółosiowości oraz możliwość realizacji przemieszczenia osiowego w samym łożysku CARB pozwalają uniknąć powstawania wewnętrznych sił osiowych w łożyskowaniu.

W przypadku węgłów łożyskowych przenoszących obciążenie wirujące względem pierścienia wewnętrznego, w których kompensacja zmiany długości wału odbywa się pomiędzy łożyskiem a powierzchnią jego osadzenia, pierścień zewnętrzny łożyska swobodnego powinien mieć możliwość przemieszczenia osiowego względem oprawy. Najczęściej spotykane rozwiązania to

- łożysko kulkowe zwykłe/łożysko kulkowe zwykłe (→ **rys. 7**)
- łożysko kulkowe wahliwe lub łożysko baryłkowe/łożysko kulkowe wahliwe lub łożysko baryłkowe (→ **rys. 8**)
- dopasowane w zespole łożyska kulkowe skośne jednorzędowe/łożysko kulkowe zwykłe (→ **rys. 9**).

Węzły łożyskowe nastawne

Przy tak zwanym „dwustronnym ustaleniu” wał jest prowadzony osiowo przez każde z obu łożysk tylko w jednym kierunku. Takie rozwiązanie jest przeważnie stosowane dla krótkich wałów. Wykorzystywane są wtedy wszystkie rodzaje łożysk poprzecznych, które mogą przejmować również obciążenia osiowe co najmniej w jednym kierunku, jak np.

- łożyska kulkowe skośne (→ **rys. 10**)
- łożyska stożkowe (→ **rys. 11**).

Dla łożyskowań złożonych z łożysk kulkowych skośnych lub łożysk stożkowych przy dwustronnym ustaleniu, konieczne jest zastosowanie

w określonych przypadkach napięcia wstępnego (→ **strona 206**).

Węzły łożyskowe pływające

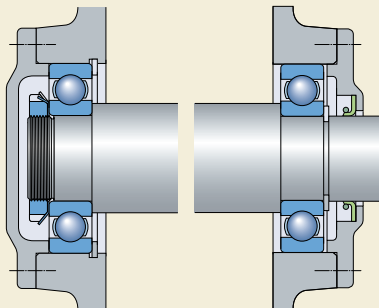
Węzły łożyskowe pływające są także dwustronnie ustalone. Znajdują one zastosowanie w przypadku, gdy nie ma specjalnych wymagań dotyczących ustalenia osiowego lub gdy inne elementy zamontowane na wale ustalają jego położenie osiowe.

Łożyskami występującymi w tego typu węzłach są

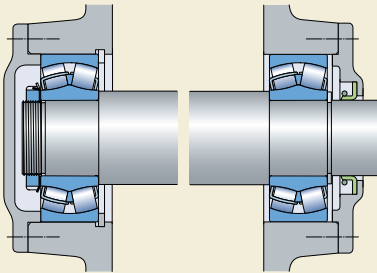
- łożyska kulkowe zwykłe (→ **rys. 12**)
- łożyska kulkowe wahliwe
- łożyska baryłkowe.

W tego typu rozwiązaniach ważne jest, aby jeden z pierścieni każdego łożyska miał możliwość przesuwu względem powierzchni osadzenia. Zazwyczaj dotyczy to pierścienia zewnętrznego względem oprawy. Łożyskowanie pływające można też uzyskać stosując dwa łożyska walcowe typu NJ z przesuniętymi pierścieniami wewnętrznymi (→ **rys. 13**). W takim wypadku przemieszczenie osiowe jest możliwe wewnątrz łożyska.

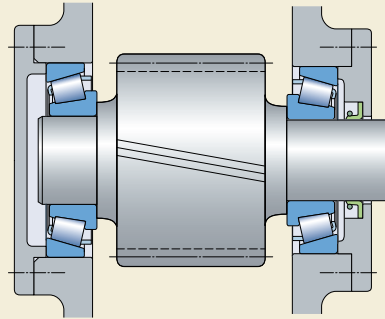
Rys. 7



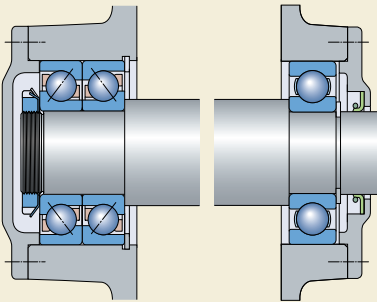
Rys. 8



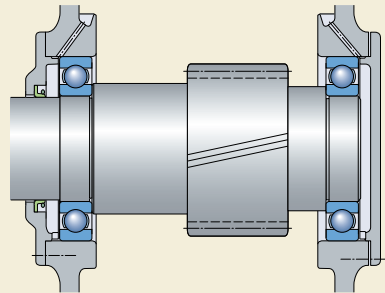
Rys. 11



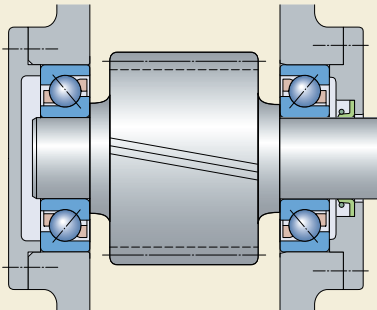
Rys. 9



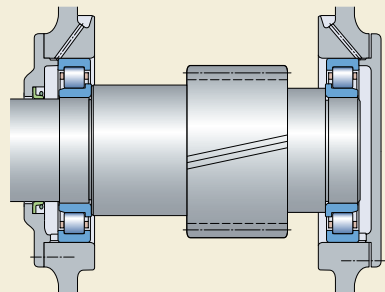
Rys. 12



Rys. 10



Rys. 13



Promieniowe osadzenie łożysk

Aby nośność łożyska mogła być w pełni wykorzystana, pierścienie łożysk lub podkładki bieżne łożysk wzdłużnych muszą być podparte na całym ich obwodzie i wzdłuż całej szerokości bieżni. Podparcie to musi być niezawodne i może być zapewnione za pomocą walcowych i stożkowych powierzchni osadzenia lub w przypadku podkładek – za pomocą płaskich powierzchni podparcia. Oznacza to, że powierzchnie osadzeń muszą być wykonane z odpowiednią dokładnością i nie mogą być poprzerywane przez rowki, otwory i inne nierówności. Ponadto, pierścienie muszą być niezawodnie zabezpieczone przed obrotem (względem osadzenia) pod obciążeniem.

Zadawalające promieniowe osadzenie łożysk i odpowiednie podparcie można zazwyczaj uzyskać tylko przez odpowiednio ciasne pasowanie pierścieni. Nieprawidłowo lub niewystarczająco osadzone pierścienie mogą spowodować uszkodzenie łożyska i współpracujących z nim elementów. Jeżeli jednak wymaga się łatwej zabudowy i demontażu, a przy łożysku swobodnym przesuwalności osiowej, to nie przewiduje się żadnego ciasnego pasowania. W niektórych wypadkach, gdy stosowane jest pasowanie luźne należy zabezpieczyć pierścień łożyska przed nadmiernym zużyciem na skutek pełzania utwardzając powierzchniowo powierzchnię osadzenia łożyska i odsadzenia na wale lub w oprawie, smarując stykające się powierzchnie przez specjalne rowki smarowe i tym samym odprowadzając cząstki zużytego materiału oraz stosując nacięcia w kształcie rowków na powierzchniach czołowych pierścieni łożyskowych, które współpracują z wpustami lub innymi elementami utrzymującymi łożysko.

Dobór pasowania

Przy doborze pasowania należy uwzględnić następujące ogólne wytyczne.

1. Przypadki obciążenia

Przypadki obciążenia charakteryzują ruch pierścieni łożysk w stosunku do kierunku obciążenia działającego na łożysko (→ **tablica 1**). Można wyróżnić trzy rodzaje obciążeń: wirujące, nieruchome (stacjonarne) oraz o kierunku nieokreślonym.

„Obciążenie wirujące” występuje wówczas, gdy pierścień łożyska obraca się, a obciążenie jest nieruchome lub gdy pierścień jest nieruchomy, a obciążenie wiruje względem niego. W takiej sytuacji wszystkie punkty bieżni są obciążane podczas jednego obrotu. Gdy obciążenie o dużej wartości nie wiruje, lecz wykonuje ruch wahadłowy, jak np. ma to miejsce w przypadku pierścieni zewnętrznych łożysk korbowodu, to występuje również przypadek obciążenia wirującego.

Pod działaniem obciążenia wirującego pierścień łożyska będzie obracał się (pełzał) na wale lub w oprawie, jeżeli będzie luźno pasowany. Wystąpią wtedy uszkodzenia zwane korozją cierną. Chcąc przeciwdziałać temu zjawisku należy stosować pasowanie ciasne. Wymagana wielkość wcisku zależy od warunków pracy (→ **punkty 2 i 4**).

Jeżeli pierścień łożyska jest nieruchomy i obciążenie jest nieruchome, lub gdy pierścień i obciążenie wirują z taką samą prędkością, przez co obciążenie jest zawsze skierowane na ten sam punkt bieżni, to obciążenie takie jest określane jako „obciążenie nieruchome” lub „stacjonarne”. Przy obciążeniu nieruchomym w zasadzie nie występuje pełzanie pierścienia i ciasne pasowanie nie jest konieczne, chyba że potrzeba przyjęcia takiego pasowania wynika z innego powodu.

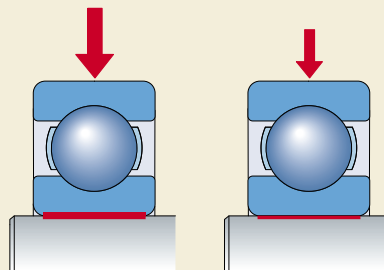
Zmienne obciążenia zewnętrzne, obciążenia udarowe, drgania lub siły od niewyważenia szybko obracających się elementów, powodujące zmiany kierunku obciążenia, które nie mogą być dokładnie oszacowane, są klasyfikowane pod nazwą „kierunek obciążenia nieokreślony”. Przy nieokreślonym kierunku działania obciążenia, a zwłaszcza wtedy, gdy występują duże obciążenia, konieczne jest ciasne pasowanie obu pierścieni. Dla pierścienia wewnętrznego zaleca się wtedy stosować pasowanie jak dla przypadku obciążenia wirującego. Jeżeli jednak pierścień zewnętrzny powinien mieć możliwość swobodnego przesuwu osiowego w oprawie i obciążenia nie są zbyt duże, można dla tego pierścienia przyjąć pasowanie nieco luźniejsze niż przy obciążeniu wirującym.

2. Wielkość i charakter obciążenia

Pewność osadzenia pierścienia wewnętrznego zamontowanego z wciśkiem zmniejsza się wraz ze wzrostem obciążenia działającego na łożysko, ponieważ pod wpływem obciążenia pierścienie rozszerza się. W przypadku występowania obciążenia wirującego może nawet dojść do obracania się pierścienia na wale. Należy zatem dobrać wielkość wciśku w zależności od obciążenia, przy czym im większe obciążenie, zwłaszcza o charakterze uderowym, tym ciśniejsze powinno być pasowanie (→ rys. 14). Trzeba uwzględnić też obciążenia uderowe i drgania

Wielkość obciążenia określa się jako

- $P \leq 0,05 C$ – lekkie
- $0,05 C < P \leq 0,1 C$ – normalne



Tablica 1

Przypadki obrotu i obciążenia				
Warunki pracy	Schemat obciążenia	Warunki obciążenia	Przykład	Zalecane pasowania
Wirujący pierścień wewnętrzny Nieruchomy pierścień zewnętrzny Stały kierunek obciążenia		Obc. wirujące względem p. wewn. Obc. nieruchome względem p. zewn.	Wały napędzane przez przekładnie pasowe	Pierścień wewn. pasowany ciasno Pierścień zewn. pasowany luźno
Nieruchomy pierścień wewnętrzny Wirujący pierścień zewnętrzny Stały kierunek obciążenia		Obc. nieruchome względem p. wewn. Obc. wirujące względem p. zewn.	Krażniki przenośników taśmowych Piasta koła w samochodzie	Pierścień wewn. pasowany luźno Pierścień zewn. pasowany ciasno
Wirujący pierścień wewnętrzny Nieruchomy pierścień zewnętrzny Obciążenie wirujące razem z p. wewn.		Obc. nieruchome względem p. wewn. Obc. wirujące względem p. zewn.	Maszyny narażone na drgania Przesiewacze wibracyjne i ich silniki	Pierścień zewn. pasowany ciasno Pierścień wewn. pasowany luźno
Nieruchomy pierścień wewnętrzny Wirujący pierścień zewnętrzny Obciążenie wirujące razem z p. zewn.		Obc. wirujące względem p. wewn. Obc. nieruchome względem p. zewn.	Kruszarka stożkowa Napędy karuzeli	Pierścień wewn. pasowany ciasno Pierścień zewn. pasowany luźno

- $0,1 C < P \leq 0,15 C$ – wysokie
- $P > 0,15 C$ – bardzo wysokie

3. Luz wewnętrzny łożyska

Przy ciasnym pasowaniu łożyska na wale lub w oprawie dochodzi do odkształcenia sprężystego pierścieni (pierścień wewnętrzny powiększa swoje wymiary, a pierścień zewnętrzny je zmniejsza), przez co luz wewnętrzny łożyska ulega zmniejszeniu. Wielkość luzu i stopień jego zmniejszenia zależą od rodzaju i wielkości łożyska. Ponieważ pewien niewielki luz w łożysku powinien być zachowany ($\rightarrow$ rozdział „Luz wewnętrzny łożyska”, **strona 137**) przeto w tych przypadkach, kiedy jego zmniejszenie w wyniku przyjętego pasowania jest zbyt duże, konieczne jest stosowanie łożysk z luzem większym od normalnego ($\rightarrow$ **rys. 15**).

4. Warunki temperaturowe

Pierścienie zewnętrzne łożysk pracują zwykle w niższej temperaturze niż pierścienie wewnętrzne. Może to prowadzić do zmniejszenia luzu w łożysku ($\rightarrow$ **rys. 16**).

W praktyce pierścienie łożysk osiągają wyższą temperaturę niż części maszyn, w których są zabudowywane. Może to spowodować rozluźnienie pasowania na wale i zaciśnięcie osadzenia pierścieni zewnętrznych, co w przypadku łożysk swobodnych może uniemożliwić przesuwanie osiowe w otworze oprawy. Szybki rozruch lub tarcie uszczelnień także mogą spowodować poluzowanie wciśku pierścienia wewnętrznego. W związku z tym przy doborze pasowania należy zwracać szczególną uwagę na kierunek przepływu ciepła.

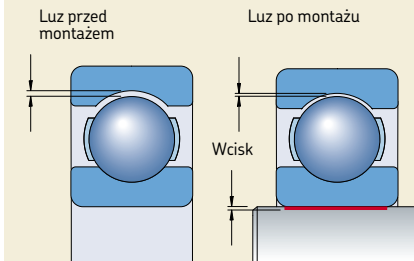
5. Wymagania dotyczące dokładności obrotu

Przy wysokich wymaganiach dotyczących dokładności obrotu, łożyska powinny być pasowane ciasno, aby ograniczyć drgania i zjawisko sprężynowania. Miejsca osadzenia łożyska na wale i w oprawie powinny być wykonane w zawężonej tolerancji, odpowiadającej co najmniej klasie dokładności 5 dla wału i klasie dokładności 6 dla oprawy. Tolerancje walcowości czopów i gniazd również powinny być zacieśnione ($\rightarrow$ **tablica 11, strona 196**).

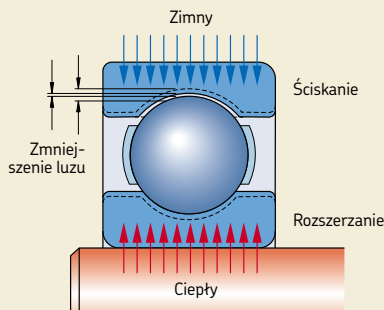
6. Wykonanie oraz materiał wału i oprawy

Przyjęte pasowanie w żadnym przypadku nie powinno powodować nierównomiernej deformacji pierścienia (owalność), która może być

Rys. 15



Rys. 16



spowodowana przez nieregularność miejsc osadzenia. Nie należy stosować opraw dzielonych w przypadku, gdy przewidywane pasowanie pierścienia zewnętrznego ma być ciśniejsze niż wynikające z odchyłek pola tolerancji H (lub co najwyżej K). Dla zapewnienia odpowiedniego osadzenia pierścieni w oprawach cienkościennych, oprawach z metali lekkich lub na wałach drażnionych, należy stosować ciśniejsze pasowanie od tego, jakie stosuje się dla opraw stalowych i żeliwnych albo dla wałów pełnych ($\rightarrow$ rozdział „Pasowania dla wałów drażnionych”, **strona 172**). Dla niektórych materiałów wału czasami zachodzi natomiast konieczność zastosowania mniejszego wciśku.

7. Łatwość montażu i demontażu

Łożyska pasowane luźno łatwiej montować i demontować niż łożyska pasowane z wciśkiem. Jeżeli jednak warunki pracy wymagają zastosowania ciasnego pasowania i przy tym konieczna jest łatwość montażu i demontażu, zaleca się wówczas stosowanie łożysk rozłącznych lub łożysk z otworem stożkowym. Łożyska z otworem stożkowym można montować bezpośrednio na wale z czopem stożkowym albo za pomocą tulei wciąganej lub wciskanej na wale prostym lub stopniowanym z czopem walcowym (→ rysunki 26, 27 i 28, strona 201).

8. Przesunięcie łożyska swobodnego

Gdy jako łożysko swobodne stosowane jest łożysko, które nie może kompensować przesunięcia osiowego wewnątrz samego łożyska, należy koniecznie zapewnić mu możliwość przesuwu w kierunku osiowym. W tym celu stosowane jest luźne pasowanie pierścienia, który przenosi obciążenie nieruchome (→ rys. 20, strona 199). Jeżeli pierścień zewnętrzny przenosi obciążenie nieruchome w łożysku swobodnym, to przesunięcie osiowe zachodzi w otworze oprawy. W przypadku opraw ze stopów metali lekkich konieczne jest w tej sytuacji wstawienie w otwór oprawy hartowanej tulei pośredniej. W ten sposób zapobiega się „wyklepywaniu” powierzchni osadzenia spowodowanego mniejszą twardością materiału; w przeciwnym razie wpłynęłoby to na przesunięcia osiowe, które byłyby ograniczone lub nawet całkowicie niemożliwe.

Przy zastosowaniu łożysk walcowych z jednym pierścieniem bez obrzeży, łożysk igiełkowych lub łożysk toroidalnych CARB jako łożysk swobodnych, oba pierścienie łożyska mogą być pasowane ciasno, gdyż w tym wypadku przesunięcie osiowe odbywa się w łożysku.

Zalecenia dotyczące pasowań

Tolerancje średnicy otworu i średnicy zewnętrznej łożysk tocznych są znormalizowane w skali międzynarodowej (→ rozdział „Tolerancje wymiarowe”, strona 120).

Chcąc uzyskać ciasne lub luźne pasowanie walcowych powierzchni łożyska, odpowiednio pola tolerancji dla wału i oprawy dobiera się z ogólnego układu pasowań ISO dla wałka i otworu. Dla łożysk tocznych ma zastosowanie oczywiście tylko ograniczona ilość pasowań

z ogólnego układu pasowań ISO. Położenia zalecanych pól tolerancji w stosunku do pola tolerancji średnicy otworu łożyska i do pola tolerancji średnicy zewnętrznej łożyska zostały przedstawione na **rys. 17, strona 168**.

Łożyska z otworem stożkowym są montowane albo bezpośrednio na stożkowym osadzeniu wału, albo za pomocą szczelinowej, zewnętrznie stożkowej tulei (tuleja wciągana lub wciskana) na walcowych wałach lub czopach wałów. W tym przypadku pasowanie pierścienia wewnętrznego nie odbywa się jak w łożyskach z otworem walcowym za pomocą odpowiednio dobranej tolerancji wału, lecz za pomocą odległości, o którą przesunie się pierścień na stożkowym osadzeniu wału lub na stożkowej tulei. Należy przy tym zwrócić uwagę na specjalne zalecenia dotyczące zmniejszania luzu podane w tekstach poprzedzających następujące rozdziały katalogu: „Łożyska kulkowe wahliwe”, „Łożyska baryłkowe” i „Łożyska toroidalne CARB”.

Jeżeli łożyska mają być zamocowane za pomocą tulei wciąganej lub wciskanej, to dla osadzenia tulei na wale dopuszczalne są większe tolerancje średnic, lecz w tym przypadku tolerancje walcowości czopów muszą być zacieśnione (→ rozdział „Dokładność wymiarów, kształtu i obrotu elementów współpracujących”, początek na **stronie 194**).

Tablice zalecanych pasowań

Wytyczne doboru pasowań łożysk dla pełnych wałów stalowych można znaleźć w

Tablicy 2: Łożyska poprzeczne z otworem wal-cowym

Tablicy 3: Łożyska wzdłużne

a dla opraw żeliwnych i stalowych w

Tablicy 4: Łożyska poprzeczne – oprawy niedzielone

Tablicy 5: Łożyska poprzeczne – oprawy dzielone lub niedzielone

Tablicy 6: Łożyska wzdłużne

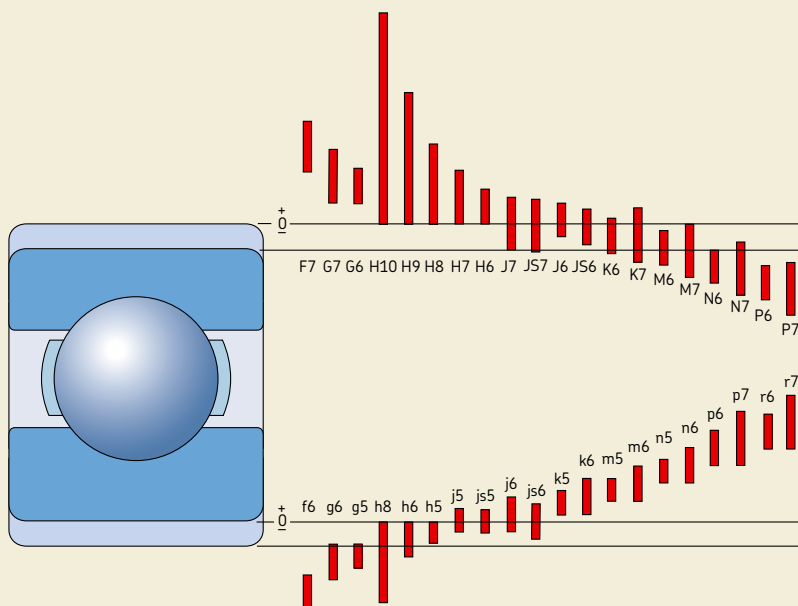
Powyższe zalecenia dla nowoczesnych łożysk przygotowano na podstawie przedstawionych ogólnych kryteriów doboru z uwzględnieniem postępu w technice łożyskowej oraz wieloletniego doświadczenia w zakresie różnego typu łożyskowań i zastosowań. Nowoczesne łożyska mogą przenosić znacznie większe obciążenia niż ich

starsze odpowiedniki, co wiąże się z trudniejszymi warunkami pracy. W tablicach tolerancji otworu oprawy podano też informacje czy pierścień zewnętrzny może się przemieszczać w gnieździe oprawy. Dzięki tym danym można sprawdzić czy po wybrane pole tolerancji pozwala stosować w węzłach łożyskowych swobodnych łożyska nierozłączne bez możliwości kompensacji przemieszczenia osiowego.

Uwaga

W przypadku łożysk ze stali nierdzewnej można stosować zalecane pola tolerancji podane w **tablicach** od **2** do **6** na **stronach** od **169** do **171**, pamiętając o ograniczeniach podanych w przypisach ²⁾ i ³⁾ w **tablicy 2**. Przypis ¹⁾ w **tablicy 2** nie dotyczy łożysk ze stali nierdzewnej. W przypadku konieczności stosowania cieńszych pasowań niż zalecane w **tablicy 2**, prosimy o kontakt z doradcami technicznymi SKF. Być może trzeba wówczas przeanalizować luz wewnętrzny, np. w przypadku stosowania wałów ze stali nierdzewnej w podwyższonych temperaturach.

Rys. 17



Zalecane tolerancje pasowania dla pełnych wałów stalowych

Łożyiska poprzeczne z otworem walcowym

Warunki pracy	Przykłady	Średnica wału, mm				Pole tolerancji
		Łożyiska kulkowe ¹⁾	Łożyiska walcowe	Łożyiska stożkowe	Łożyiska CARB i barytkowe	
Obciążenie wirujące względem pierścienia wewnętrznego lub kierunku obciążenia nieokreślony						
Małe i zmienne obciążenia (P ≤ 0,05 C)	Przenośniki, lekko obciążone łożyska przekładni zębatych	≤ 17	–	–	–	js5 (h5) ²⁾
		(17) do 100	≤ 25	≤ 25	–	j6 (j5) ²⁾
		(100) do 140	(25) do 60	(25) do 60	–	k6
		–	(60) do 140	(60) do 140	–	m6
Normalne i duże obciążenia (P > 0,05 C)	Ogólna budowa maszyn, silniki elektryczne, turbiny, pompy, przekładnie zębate, maszyny do obróbki drewna, siłownie wiatrowe	≤ 10	–	–	–	js5
		(10) do 17	–	–	–	j5 (js5) ²⁾
		(17) do 100	–	–	< 25	k5 ³⁾
		–	≤ 30	≤ 40	–	k6
		(100) do 140	(30) do 50	–	25 do 40	m5
		(140) do 200	–	(40) do 65	–	m6
		–	(50) do 65	–	(40) do 60	n5 ⁴⁾
		(200) do 500	(65) do 100	(65) do 200	(60) do 100	n6 ⁴⁾
		–	(100) do 280	(200) do 360	(100) do 200	p6 ⁵⁾
		> 500	–	–	–	p7 ⁴⁾
–	(280) do 500	(360) do 500	(200) do 500	r6 ⁴⁾		
–	> 500	> 500	> 500	r7 ⁴⁾		
Duże i bardzo duże obciążenia przy ciężkich warunkach pracy (P > 0,1 C)	Łożyiska kół ciężkich pojazdów szynowych, silniki trakcyjne, walcarki	–	(50) do 65	–	(50) do 70	n5 ⁴⁾
		–	(65) do 85	(50) do 110	–	n6 ⁴⁾
		–	(85) do 140	(110) do 200	(70) do 140	p6 ⁶⁾
		–	(140) do 300	(200) do 500	(140) do 280	r6 ⁷⁾
		–	(300) do 500	–	(280) do 400	s6 _{min}
–	> 500	> 500	> 400	s7 _{min}	IT6/2 ⁶⁾ IT7/2 ⁶⁾	
Wysokie wymagania dokładności obrotu przy małych obciążeniach (P ≤ 0,05 C)	Obrabiarki	8 do 240	–	–	–	js4
		–	25 do 40	25 do 40	–	js4 (j5) ⁹⁾
		–	(40) do 140	(40) do 140	–	k4 (k5) ⁹⁾
		–	(140) do 200	(140) do 200	–	m5
–	–	(200) do 500	(200) do 500	–	n5	
Obciążenie nieruchome względem pierścienia wewnętrznego						
Wymagany łatwy przesuw osiowy pierścienia wewnętrznego	Koła na nieobracającej się osi					g6 ¹⁰⁾
Łatwy przesuw osiowy pierścienia wewnętrznego nie jest wymagany	Rolki napinające, koła linowe					h6
Obciążenie ściśle osiowe						
	Wszelkie rodzaje łożyskowań	≤ 250	–	≤ 250	≤ 250	j6
		> 250	–	> 250	> 250	js6

¹⁾ Dla normalnie i silnie obciążonych łożysk ($P > 0,05 C$), często zachodzi potrzeba zastosowania luzu wewnętrznego większego niż normalny jeżeli stosowane są tolerancje wałka podane w powyższej tabeli. Czasami warunki pracy wymagają ciśniejszych pasowań, aby zabezpieczyć pierścienie wewnętrzne łożysk przed obrotem (pełzaniem) względem wału. W celu uzyskania optymalnego luzu po zabudowie, zwykle stosowane są łożyska z luzem powiększonym. Tolerancje wału są wówczas następujące:

- k4 dla wałów o średnicy od 10 do 17 mm
- n6 dla wałów o średnicy ponad 140 do 300 mm
- k5 dla wałów o średnicy ponad 17 do 25 mm
- p6 dla wałów o średnicy ponad 300 do 500 mm
- m5 dla wałów o średnicy ponad 25 do 140 mm

Więcej informacji można uzyskać korzystając z usług doradców technicznych SKF

- ²⁾ Tolerancje podane w nawiasach dotyczą łożysk ze stali nierdzewnej
³⁾ Dla łożysk ze stali nierdzewnej o średnicy od 17 do 30 mm obowiązuje pole tolerancji j5
⁴⁾ Może zachodzić konieczność stosowania łożysk ze stali nierdzewnej
⁵⁾ Dla $d \leq 150$ mm zaleca się stosować łożyska z luzem większym niż normalny. Dla $d > 150$ mm może zachodzić konieczność stosowania łożysk z luzem większym niż normalny
⁶⁾ Zaleca się stosować łożyska z luzem większym niż normalny
⁷⁾ Może zachodzić konieczność stosowania łożysk z luzem większym niż normalny. Dla łożysk walcowych zaleca się luz większy niż normalny
⁸⁾ Wartości odchyłek można znaleźć w „Katalogu Interaktywnym SKF” na stronie www.skf.com lub skorzystać z usług doradców technicznych SKF
⁹⁾ Tolerancje podane w nawiasach dotyczą łożysk stożkowych. Dla lekko obciążonych układów łożysk stożkowych, których napięcie wstępne jest ustalane za pomocą pierścienia wewnętrznego można przyjąć pole tolerancji js5 lub js6
¹⁰⁾ Dla dużych łożysk można przyjąć pole tolerancji f6 dla zapewnienia możliwości łatwego przesuwu osiowego

Tablica 3

Zalecane tolerancje pasowania dla pełnych wałów stalowych		
łożyska wzdłużne		
Warunki pracy	Średnica wału, mm	Pole tolerancji
Obciążenia ściśle osiowe		
łożyska kulkowe wzdłużne	–	h6
łożyska walcowe wzdłużne	–	h6 (h8)
Złożenia walcowe wzdłużne	–	h8
Obciążenia osiowe i promieniowe łożysk barytkowych wzdłużnych		
Obciążenie nieruchome względem pierścienia wewnętrznego	≤ 250	j6
	> 250	js6
Obciążenie wirujące względem pierścienia wewnętrznego lub kierunku obciążenia nieokreślony	≤ 200 (200) do 400 > 400	k6 m6 n6

Tablica 4

Zalecane tolerancje pasowania dla opraw żeliwnych i stalowych			
łożyska poprzeczne – oprawy niedzielone			
Warunki pracy	Przykłady	Pole tolerancji ¹⁾	Przesuw osiowy pierścienia zewnętrznego
Obciążenie wirujące względem pierścienia zewnętrznego			
Duże obciążenia łożysk w oprawach cienkościennych, silne obciążenia uderowe (P > 0,1 C)	Piasty kół z łożyskami wałeczkowymi, łożyska stopy korbowodu	P7	Nieprzesuwny
Normalne i duże obciążenia (P > 0,05 C)	Piasty kół z łożyskami kulkowymi, łożyska stopy korbowodu, koła bieżne żurawi	N7	Nieprzesuwny
Małe i zmienne obciążenia (P ≤ 0,05 C)	Rollki taśmociągów, koła linowe, rollki napinaczy	M7	Nieprzesuwny
Kierunek obciążenia nieokreślony			
Silne obciążenia uderowe	Silniki elektryczne trakcyjne	M7	Nieprzesuwny
Normalne i duże obciążenia (P > 0,05 C), przesuw osiowy pierścienia zewnętrznego niekonieczny	Silniki elektryczne, pompy, łożyska korbowodów	K7	Z reguły nieprzesuwny
Dokładna lub cichobieźna praca²⁾			
łożyska kulkowe	Małe silniki elektryczne	J6 ³⁾	Łatwo przesuwny
łożyska stożkowe	Regulowane przez p. zewnętrzną	JS5	–
	Pierścień zewn. ustalany osiowo	K5	–
	Obciążenie wirujące p. zewn.	M5	–

¹⁾ Dla łożysk kulkowych o średnicy zewnętrznej D ≤ 100 mm, często preferowana, a dla łożysk cienkościennych serii średnic 7, 8 i 9 wręcz zalecana, jest klasa dokładności IT6. Dla tych serii łożysk zalecana tolerancja walcowości odpowiada klasie IT4

²⁾ Dla łożysk precyzyjnych wykonanych w klasie dokładności P5 lub wyższej obowiązują inne zalecenia (→ katalog SKF „Łożyska precyzyjne”)

³⁾ Gdy wymagana jest łatwa przesuwalność, można wybrać pole tolerancji H6 zamiast J6

Tablica 5

Zalecane tolerancje pasowania dla opraw żeliwnych i stalowych

Łożyska poprzeczne – oprawy dzielone lub niedzielone

Warunki pracy	Przykłady	Pole tolerancji ¹⁾	Przesuw osiowy pierścienia zewnętrznego
Kierunek obciążenia nieokreślony			
Małe i normalne obciążenia ($P \leq 0,1 C$), wymagany przesuw osiowy pierścienia zewnętrznego	Maszyny elektryczne średniej wielkości, pompy, łożyska korbowodów	J7	Z reguły przesuwny
Obciążenie nieruchome względem pierścienia zewnętrznego			
Wszystkie rodzaje obciążeń	Ogólna budowa maszyn, koła pojazdów szynowych	H7 ²⁾	Przesuwny
Małe i normalne obciążenia ($P \leq 0,1 C$) przy lekkich warunkach pracy	Ogólna budowa maszyn	H8	Przesuwny
Przewodzenie ciepła przez wał	Cylindry suszące, duże maszyny elektryczne z łożyskami barytkowymi	G7 ³⁾	Przesuwny

¹⁾ Dla łożysk kulkowych o średnicy zewnętrznej $D \leq 100$ mm, często preferowana, a dla łożysk cienkościennych serii średnic 7, 8 i 9 wręcz zalecana, jest klasa dokładności IT6. Dla tych serii łożysk zalecana tolerancja walcowości odpowiada klasie IT4

²⁾ Dla dużych łożysk ($D > 250$ mm) i różnicy temperatur między pierścieniem zewnętrznym a oprawą większej niż 10°C , należy stosować pole tolerancji G7 zamiast H7

³⁾ Dla dużych łożysk ($D > 250$ mm) i różnicy temperatur między pierścieniem zewnętrznym a oprawą większej niż 10°C , należy stosować pole tolerancji F7 zamiast G7

Tablica 6

Zalecane tolerancje pasowania dla opraw żeliwnych i stalowych

Łożyska wzdłużne

Warunki pracy	Pole tolerancji	Uwagi
Obciążenie ściśle osiowe		
Łożyska kulkowe wzdłużne	H8	Dla mniej dokładnych łożyskowań luz promieniowy może dochodzić do 0,001 D
Łożyska walcowe wzdłużne	H7 (H9)	
Złożenia walcowe wzdłużne	H10	
Łożyska barytkowe wzdłużne przy zastosowaniu innego łożyska do promieniowego ustalenia wału	–	Pierścień zewnętrzny powinien być założony z odpowiednim luzem promieniowym, żeby na łożysko wzdłużne nie działało żadne obciążenie promieniowe
Łożyska barytkowe wzdłużne obciążone siłami promieniowymi i osiowymi		
Obciążenie nieruchome względem pierścienia zewnętrznego	H7	Patrz również „Wykonanie elementów współpracujących” w rozdziale „Łożyska barytkowe wzdłużne” na stronie 881
Obciążenie wirujące względem pierścienia zewnętrznego	M7	

Tablice odchyłek granicznych pasowań

Wartości podane w **tablicach 7 i 8** dotyczą tolerancji pasowań wałów i opraw pozwalają na łatwe określenie charakteru pasowania

- górna i dolna granica odchyłki średnicy otworu lub średnicy zewnętrznej łożyska dla normalnej klasy dokładności
- górna i dolna granica odchyłki średnicy wału, względnie otworu oprawy, zgodnie z ISO 286-2:1988
- najmniejsza i największa wartość teoretycznego wcisku (+) lub luzu (-) przy pasowaniu
- najmniejsza i największa wartość prawdopodobnego wcisku (+) lub luzu (-) przy pasowaniu.

Odpowiednie wartości dla powierzchni osadzeń łożysk tocznych na wałach zostały podane dla następujących pól tolerancji

e7, f5, f6, g5, g6
w **tablicy 7a, strony 174 i 175**
h5, h6, h8, h9, j5
w **tablicy 7b, strony 176 i 177**
j6, js5, js6, js7, k4
w **tablicy 7c, strony 178 i 179**
k5, k6, m5, m6, n5
w **tablicy 7d, strony 180 i 181**
n6, p6, p7, r6, r7
w **tablicy 7e, strony 182 i 183**

Odpowiednie wartości dla powierzchni osadzeń łożysk tocznych w oprawach zostały podane dla następujących pól tolerancji

F7, G6, G7, H5, H6
w **tablicy 8a, strony 184 i 185**
H7, H8, H9, H10, J6
w **tablicy 8b, strony 186 i 187**
J7, JS5, JS6, JS7, K5
w **tablicy 8c, strony 188 i 189**
K6, K7, M5, M6, M7
w **tablicy 8d, strony 190 i 191**
N6, N7, P6, P7
w **tablicy 8e, strony 192 i 193**

Podane wartości normalnych odchyłek średnicy otworu i średnicy zewnętrznej łożyska, dla których obliczane są wartości graniczne pasowań, odnoszą się do wszystkich łożysk metrycznych z wyjątkiem łożysk stożkowych o wymiarach $d \leq 30$ mm i $D \leq 150$ mm oraz łożysk wzdłużnych

o wymiarach $D \leq 150$ mm. Odchyłki wymiarowe dla tych łożysk różnią się od odchyłek granicznych dla innych łożysk tocznych wykonanych w normalnej klasie dokładności (→ tablice tolerancji wykonania na **stronach 125 do 132**).

Podane prawdopodobne wartości graniczne obejmują 99 % wszystkich kombinacji teoretycznych wcisków lub luzów przy pasowaniu.

W przypadku łożysk wykonanych w klasie dokładności wyższej niż normalna, zawężone tolerancje średnicy otworu i średnicy zewnętrznej oznaczają odpowiednio mniejszy wcisk lub luz wynikowy pasowania. Jeżeli w takich wypadkach potrzebne są dokładniejsze obliczenia wartości granicznych, prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego SKF.

Pasowania dla wałów drażonych

Jeżeli łożyska są montowane z pasowaniem ciasnym na wałach drażonych, należy stosować ciśniejsze pasowanie niż w przypadku wałów pełnych w celu uzyskania takich samych nacisków między pierścieniem wewnętrznym a miejscem osadzenia. Następujące stosunki średnic mają decydujący wpływ na wielkość wcisku

$$c_i = \frac{d_i}{d} \quad c_e = \frac{d}{d_e}$$

Wydrążenie wału ma istotne znaczenie dopiero wówczas, gdy stosunek średnic wału drażonego $c_i \geq 0,5$. Jeśli średnica średnica zewnętrzna pierścienia wewnętrznego nie jest znana, stosunek średnic pierścienia wewnętrznego c_e można z wystarczającą dokładnością obliczyć z równania

$$c_e = \frac{d}{k(D-d) + d}$$

gdzie

c_i = stosunek średnic wału drażonego

c_e = stosunek średnic pierścienia wewnętrznego

d = średnica zewnętrzna wału drażonego
(= średnicy otworu łożyska), mm

d_i = średnica wewnętrzna wału drażonego, mm

d_e = średnica zewnętrzna pierścienia
wewnętrznego, mm

D = średnica zewnętrzna łożyska, mm

k = współczynnik rodzaju łożyska; dla łożysk kulkowych wahliwych serii 22 i 23, $k = 0,25$; dla łożysk walcowych, $k = 0,25$; dla wszystkich innych łożysk, $k = 0,3$

Chcąc ustalić zalecane wciski przy zakładaniu łożysk na wały drażnione należy za podstawę przyjmować średnie prawdopodobne wciski między wałem a otworem łożyska, jakie wynikają z pasowania zalecanego dla wału pełnego o tej samej średnicy. Przyjmując za pomijalnie małe zjawisko plastycznych deformacji (wygładzania) na powierzchniach wciskanych, można przyjąć, że faktycznie występujące wciski będą takie same, jak średnie prawdopodobne wciski.

Wymagany wcisk Δ_H dla stalowego wału drażonego można określić z podanego niżej **wykresu 1** w stosunku do znanego wcisku Δ_V dla wału pełnego. Wartość wcisku Δ_V jest równa średniej wartości prawdopodobnego wcisku dla wału pełnego. Dla wału drażonego należy więc przyjmować takie tolerancje, przy których średni prawdopodobny wcisk będzie możliwie bliski wciskowi Δ_H wyznaczonemu na podstawie **wykresu 1**.

Przykład

Łożysko kulkowe zwykłe 6208 o wymiarach $d = 40$ mm i $D = 80$ mm ma zostać zamontowane na wale drażonym o stosunku średnic $c_i = 0,8$. Jaki jest wymagany wcisk i tolerancje wymiarowe wału?

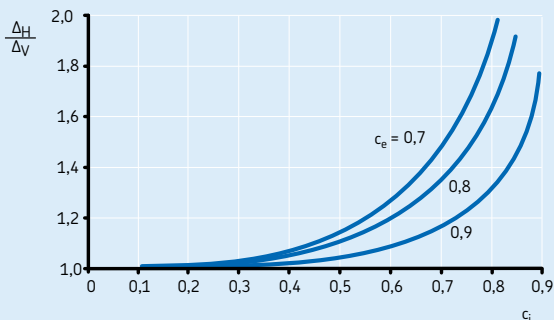
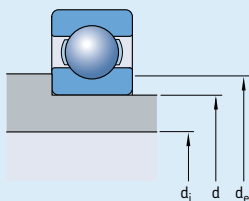
Przy montażu na stalowym wale pełnym dla normalnie obciążonego łożyska kulkowego tej wielkości zalecane jest pole tolerancji k5. Z **tablicy 7d**, na **stronie 180**, dla średnicy wału 40 mm, odczytujemy, że średni prawdopodobny wcisk wynosi $\Delta_V = (22 + 5)/2 = 13,5$ μm . Dla $c_i = 0,8$ i

$$c_e = \frac{40}{0,3(80 - 40) + 40} = 0,77$$

z **wykresu 1** odczytujemy wartość stosunku $\Delta_H/\Delta_V = 1,7$. Zalecany wcisk dla wału drażonego wynosi więc $\Delta_H = 1,7 \times 13,5 = 23$ μm . Dobieramy zatem pole tolerancji m6 dla wału drażonego, które daje wymagany średni prawdopodobny wcisk tej wielkości.

Wykres 1

Stosunek wcisku Δ_H , dla stalowego wału drażonego, do znanego wcisku Δ_V dla stalowego wału pełnego



Tablicia 7a

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania													
Wał Średnica nominalna d		Łożysko Odchyłka średnicy otworu Δ _{dmp}		Odchytki średnicy wału i wynikające z nich pasowania Pola tolerancji									
				Odchytki (średnica czopa wału)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
1	3	-8	0	-14	-24	-6	-10	-6	-12	-2	-6	-2	-8
				-6	-24	+2	-10	+2	-12	+6	-6	+6	-8
				-8	-22	+1	-9	0	-10	+5	-5	+4	-6
3	6	-8	0	-20	-32	-10	-15	-10	-18	-4	-9	-4	-12
				-12	-32	-2	-15	-2	-18	+4	-9	+4	-12
				-14	-30	-3	-14	-4	-16	+3	-8	+2	-10
6	10	-8	0	-25	-40	-13	-19	-13	-22	-5	-11	-5	-14
				-17	-40	-5	-19	-5	-22	+3	-11	+3	-14
				-20	-37	-7	-17	-7	-20	+1	-9	+1	-12
10	18	-8	0	-32	-50	-16	-24	-16	-27	-6	-14	-6	-17
				-24	-50	-8	-24	-8	-27	+2	-14	+2	-17
				-27	-47	-10	-22	-10	-25	0	-12	0	-15
18	30	-10	0	-40	-61	-20	-29	-20	-33	-7	-16	-7	-20
				-30	-61	-10	-29	-10	-33	+3	-16	+3	-20
				-33	-58	-12	-27	-13	-30	+1	-14	0	-17
30	50	-12	0	-50	-75	-25	-36	-25	-41	-9	-20	-9	-25
				-38	-75	-13	-36	-13	-41	+3	-20	+3	-25
				-42	-71	-16	-33	-17	-37	0	-17	-1	-21
50	80	-15	0	-60	-90	-30	-43	-30	-49	-10	-23	-10	-29
				-45	-90	-15	-43	-15	-49	+5	-23	+5	-29
				-50	-85	-19	-39	-19	-45	+1	-19	+1	-25
80	120	-20	0	-72	-107	-36	-51	-36	-58	-12	-27	-12	-34
				-52	-107	-16	-51	-16	-58	+8	-27	+8	-34
				-59	-100	-21	-46	-22	-52	+3	-22	+2	-28
120	180	-25	0	-85	-125	-43	-61	-43	-68	-14	-32	-14	-39
				-60	-125	-18	-61	-18	-68	+11	-32	+11	-39
				-68	-117	-24	-55	-25	-61	+5	-26	+4	-32
180	250	-30	0	-100	-146	-50	-70	-50	-79	-15	-35	-15	-44
				-70	-146	-20	-70	-20	-79	+15	-35	+15	-44
				-80	-136	-26	-64	-28	-71	+9	-29	+7	-36
250	315	-35	0	-110	-162	-56	-79	-56	-88	-17	-40	-17	-49
				-75	-162	-21	-79	-21	-88	+18	-40	+18	-49
				-87	-150	-29	-71	-30	-79	+10	-32	+9	-40
315	400	-40	0	-125	-182	-62	-87	-62	-98	-18	-43	-18	-54
				-85	-182	-22	-87	-22	-98	+22	-43	+22	-54
				-98	-169	-30	-79	-33	-87	+14	-35	+11	-43
400	500	-45	0	-135	-198	-68	-95	-68	-108	-20	-47	-20	-60
				-90	-198	-23	-95	-23	-108	+25	-47	+25	-60
				-105	-183	-32	-86	-35	-96	+16	-38	+13	-48

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania



Wał
Średnica
nominalna
d

Łożysko
Odchyłka
średnicy otworu
 Δ_{dmp}

Odchyłki średnicy wału i wynikające z nich pasowania
Pola tolerancji

e7 f5 f6 g5 g6

Odchyłki (średnica czopa wału)

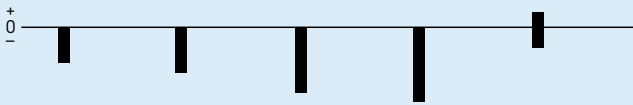
Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)

Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)

ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
500	630	-50	0	-145	-215	-76	-104	-76	-120	-22	-50	-22	-66
				-95	-215	-26	-104	-26	-120	+28	-50	+28	-66
				-111	-199	-36	-94	-39	-107	+18	-40	+15	-53
630	800	-75	0	-160	-240	-80	-112	-80	-130	-24	-56	-24	-74
				-85	-240	-5	-112	-5	-130	+51	-56	+51	-74
				-107	-218	-17	-100	-22	-113	+39	-44	+34	-57
800	1 000	-100	0	-170	-260	-86	-122	-86	-142	-26	-62	-26	-82
				-70	-260	+14	-122	+14	-142	+74	-62	+74	-82
				-97	-233	0	-108	-6	-122	+60	-48	+54	-62
1 000	1 250	-125	0	-195	-300	-98	-140	-98	-164	-28	-70	-28	-94
				-70	-300	+27	-140	+27	-164	+97	-70	+97	-94
				-103	-267	+10	-123	+3	-140	+80	-53	+73	-70
1 250	1 600	-160	0	-220	-345	-110	-160	-110	-188	-30	-80	-30	-108
				-60	-345	+50	-160	+50	-188	+130	-80	+130	-108
				-100	-305	+29	-139	+20	-158	+109	-59	+100	-78
1 600	2 000	-200	0	-240	-390	-120	-180	-120	-212	-32	-92	-32	-124
				-40	-390	+80	-180	+80	-212	+168	-92	+168	-124
				-90	-340	+55	-155	+45	-177	+143	-67	+133	-89

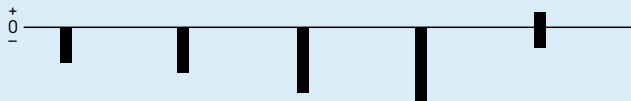
Tablica 7b

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania



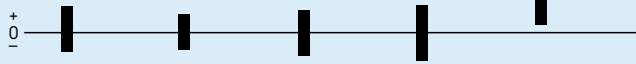
Wał Średnica nominalna d		Łożysko Odchyłka średnicy otworu Δ _{dmp}		Odchyłki średnicy wału i wynikające z nich pasowania									
				Pola tolerancji									
				h5		h6		h8		h9		j5	
				Odchyłki (średnica czopa wału)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad do		dolna	górna										
mm		μm		μm									
1	3	-8	0	0	-4	0	-6	0	-14	0	-25	+2	-2
				+8	-4	+8	-6	+8	-14	+8	-25	+10	-2
				+7	-3	+6	-4	+6	-12	+5	-22	+9	-1
3	6	-8	0	0	-5	0	-8	0	-18	0	-30	+3	-2
				+8	-5	+8	-8	+8	-18	+8	-30	+11	-2
				+7	-4	+6	-6	+5	-15	+5	-27	+10	-1
6	10	-8	0	0	-6	0	-9	0	-22	0	-36	+4	-2
				+8	-6	+8	-9	+8	-22	+8	-36	+12	-2
				+6	-4	+6	-7	+5	-19	+5	-33	+10	0
10	18	-8	0	0	-8	0	-11	0	-27	0	-43	+5	-3
				+8	-8	+8	-11	+8	-27	+8	-43	+13	-3
				+6	-6	+6	-9	+5	-24	+5	-40	+11	-1
18	30	-10	0	0	-9	0	-13	0	-33	0	-52	+5	-4
				+10	-9	+10	-13	+10	-33	+10	-52	+15	-4
				+8	-7	+7	-10	+6	-29	+6	-48	+13	-2
30	50	-12	0	0	-11	0	-16	0	-39	0	-62	+6	-5
				+12	-11	+12	-16	+12	-39	+12	-62	+18	-5
				+9	-8	+8	-12	+7	-34	+7	-57	+15	-2
50	80	-15	0	0	-13	0	-19	0	-46	0	-74	+6	-7
				+15	-13	+15	-19	+15	-46	+15	-74	+21	-7
				+11	-9	+11	-15	+9	-40	+9	-68	+17	-3
80	120	-20	0	0	-15	0	-22	0	-54	0	-87	+6	-9
				+20	-15	+20	-22	+20	-54	+20	-87	+26	-9
				+15	-10	+14	-16	+12	-46	+12	-79	+21	-4
120	180	-25	0	0	-18	0	-25	0	-63	0	-100	+7	-11
				+25	-18	+25	-25	+25	-63	+25	-100	+32	-11
				+19	-12	+18	-18	+15	-53	+15	-90	+26	-5
180	250	-30	0	0	-20	0	-29	0	-72	0	-115	+7	-13
				+30	-20	+30	-29	+30	-72	+30	-115	+37	-13
				+24	-14	+22	-21	+18	-60	+17	-102	+31	-7
250	315	-35	0	0	-23	0	-32	0	-81	0	-130	+7	-16
				+35	-23	+35	-32	+35	-81	+35	-130	+42	-16
				+27	-15	+26	-23	+22	-68	+20	-115	+34	-8
315	400	-40	0	0	-25	0	-36	0	-89	0	-140	+7	-18
				+40	-25	+40	-36	+40	-89	+40	-140	+47	-18
				+32	-17	+29	-25	+25	-74	+23	-123	+39	-10
400	500	-45	0	0	-27	0	-40	0	-97	0	-155	+7	-20
				+45	-27	+45	-40	+45	-97	+45	-155	+52	-20
				+36	-18	+33	-28	+28	-80	+26	-136	+43	-11

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania



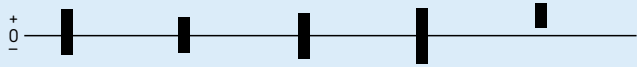
Wał Średnica nominalna d		Łożysko Odchyłka średnicy otworu Δ _{dmp}		Odchyłki średnicy wału i wynikające z nich pasowania Pola tolerancji									
				h5		h6		h8		h9		j5	
				Odchyłki (średnica czopa wału)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
500	630	-50	0	0	-28	0	-44	0	-110	0	-175	-	-
				+50	-28	+50	-44	+50	-110	+50	-175	-	-
				+40	-18	+37	-31	+31	-91	+29	-154	-	-
630	800	-75	0	0	-32	0	-50	0	-125	0	-200	-	-
				+75	-32	+75	-50	+75	-125	+75	-200	-	-
				+63	-20	+58	-33	+48	-98	+45	-170	-	-
800	1 000	-100	0	0	-36	0	-56	0	-140	0	-230	-	-
				+100	-36	+100	-56	+100	-140	+100	-230	-	-
				+86	-22	+80	-36	+67	-107	+61	-191	-	-
1 000	1 250	-125	0	0	-42	0	-66	0	-165	0	-260	-	-
				+125	-42	+125	-66	+125	-165	+125	-260	-	-
				+108	-25	+101	-42	+84	-124	+77	-212	-	-
1 250	1 600	-160	0	0	-50	0	-78	0	-195	0	-310	-	-
				+160	-50	+160	-78	+160	-195	+160	-310	-	-
				+139	-29	+130	-48	+109	-144	+100	-250	-	-
1 600	2 000	-200	0	0	-60	0	-92	0	-230	0	-370	-	-
				+200	-60	+200	-92	+200	-230	+200	-370	-	-
				+175	-35	+165	-57	+138	-168	+126	-296	-	-

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania



Wał Średnica nominalna d		Łożysko Odchyłka średnicy otworu Δ _{dmp}		Odchytki średnicy wału i wynikające z nich pasowania Pola tolerancji									
				j6		js5		js6		js7		k4	
				Odchytki (średnica czopa wału)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
1	3	-8	0	+4	-2	+2	-2	+3	-3	+5	-5	+3	0
				+12	-2	+10	-2	+11	-3	+13	-5	+11	0
				+10	0	+9	-1	+9	-1	+11	-3	+10	+1
3	6	-8	0	+6	-2	+2,5	-2,5	+4	-4	+6	-6	+5	+1
				+14	-2	+10,5	-2,5	+12	-4	+14	-6	+13	+1
				+12	0	+9	-1	+10	-2	+12	-4	+12	+2
6	10	-8	0	+7	-2	+3	-3	+4,5	-4,5	+7,5	-7,5	+5	+1
				+15	-2	+11	-3	+12,5	-4,5	+15,5	-7,5	+13	+1
				+13	0	+9	-1	+11	-3	+13	-5	+12	+2
10	18	-8	0	+8	-3	+4	-4	+5,5	-5,5	+9	-9	+6	+1
				+16	-3	+12	-4	+13,5	-5,5	+17	-9	+14	+1
				+14	-1	+10	-2	+11	-3	+14	-6	+13	+2
18	30	-10	0	+9	-4	+4,5	-4,5	+6,5	-6,5	+10,5	-10,5	+8	+2
				+19	-4	+14,5	-4,5	+16,5	-6,5	+20,5	-10,5	+18	+2
				+16	-1	+12	-2	+14	-4	+17	-7	+16	+4
30	50	-12	0	+11	-5	+5,5	-5,5	+8	-8	+12,5	-12,5	+9	+2
				+23	-5	+17,5	-5,5	+20	-8	+24,5	-12,5	+21	+2
				+19	-1	+15	-3	+16	-4	+20	-8	+19	+4
50	80	-15	0	+12	-7	+6,5	-6,5	+9,5	-9,5	+15	-15	+10	+2
				+27	-7	+21,5	-6,5	+24,5	-9,5	+30	-15	+25	+2
				+23	-3	+18	-3	+20	-5	+25	-10	+22	+5
80	120	-20	0	+13	-9	+7,5	-7,5	+11	-11	+17,5	-17,5	+13	+3
				+33	-9	+27,5	-7,5	+31	-11	+37,5	-17,5	+33	+3
				+27	-3	+23	-3	+25	-5	+31	-11	+30	+6
120	180	-25	0	+14	-11	+9	-9	+12,5	-12,5	+20	-20	+15	+3
				+39	-11	+34	-9	+37,5	-12,5	+45	-20	+40	+3
				+32	-4	+28	-3	+31	-6	+37	-12	+36	+7
180	250	-30	0	+16	-13	+10	-10	+14,5	-14,5	+23	-23	+18	+4
				+46	-13	+40	-10	+44,5	-14,5	+53	-23	+48	+4
				+38	-5	+34	-4	+36	-6	+43	-13	+43	+9
250	315	-35	0	+16	-16	+11,5	-11,5	+16	-16	+26	-26	+20	+4
				+51	-16	+46,5	-11,5	+51	-16	+61	-26	+55	+4
				+42	-7	+39	-4	+42	-7	+49	-14	+49	+10
315	400	-40	0	+18	-18	+12,5	-12,5	+18	-18	+28,5	-28,5	+22	+4
				+58	-18	+52,5	-12,5	+58	-18	+68,5	-28,5	+62	+4
				+47	-7	+44	-4	+47	-7	+55	-15	+55	+11
400	500	-45	0	+20	-20	+13,5	-13,5	+20	-20	+31,5	-31,5	+25	+5
				+65	-20	+58,5	-13,5	+65	-20	+76,5	-31,5	+70	+5
				+53	-8	+49	-4	+53	-8	+62	-17	+63	-12

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania



Wał		Łożysko		Odchyłki średnicy wału i wynikające z nich pasowania									
Średnica nominalna d		Odchyłka średnicy otworu Δ _{dmp}		Pola tolerancji									
				j6		js5		js6		js7		k4	
				Odchyłki (średnica czopa wału)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
500	630	-50	0	+22	-22	+14	-14	+22	-22	+35	-35	-	-
				+72	-22	+64	-14	+72	-22	+85	-35	-	-
				+59	-9	+54	-4	+59	-9	+69	-19	-	-
630	800	-75	0	+25	-25	+16	-16	+25	-25	+40	-40	-	-
				+100	-25	+91	-16	+100	-25	+115	-40	-	-
				+83	-8	+79	-4	+83	-8	+93	-18	-	-
800	1 000	-100	0	+28	-28	+18	-18	+28	-28	+45	-45	-	-
				+128	-28	+118	-18	+128	-28	+145	-45	-	-
				+108	-8	+104	-4	+108	-8	+118	-18	-	-
1 000	1 250	-125	0	+33	-33	+21	-21	+33	-33	+52	-52	-	-
				+158	-33	+146	-21	+158	-33	+177	-52	-	-
				+134	-9	+129	-4	+134	-9	+145	-20	-	-
1 250	1 600	-160	0	+39	-39	+25	-25	+39	-39	+62	-62	-	-
				+199	-39	+185	-25	+199	-39	+222	-62	-	-
				+169	-9	+164	-4	+169	-9	+182	-22	-	-
1 600	2 000	-200	0	+46	-46	+30	-30	+46	-46	+75	-75	-	-
				+246	-46	+230	-30	+246	-46	+275	-75	-	-
				+211	-11	+205	-5	+211	-11	+225	-25	-	-

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania



Wał		Łożysko		Odchytki średnicy wału i wynikające z nich pasowania									
Średnica nominalna d		Odchyłka średnicy otworu Δ _{dmp}		Pola tolerancji									
				k5		k6		m5		m6		n5	
				Odchytki (średnica czopa wału)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
1	3	-8	0	+4	0	+6	0	+6	+2	+8	+2	+8	+4
				+12	0	+14	0	+14	+2	+16	+2	+16	+4
				+11	+1	+12	+2	+13	+3	+14	+4	+15	+5
3	6	-8	0	+6	+1	+9	+1	+9	+4	+12	+4	+13	+8
				+14	+1	+17	+1	+17	+4	+20	+4	+21	+8
				+13	+2	+15	+3	+16	+5	+18	+6	+20	+9
6	10	-8	0	+7	+1	+10	+1	+12	+6	+15	+6	+16	+10
				+15	+1	+18	+1	+20	+6	+23	+6	+24	+10
				+13	+3	+16	+3	+18	+8	+21	+8	+22	+12
10	18	-8	0	+9	+1	+12	+1	+15	+7	+18	+7	+20	+12
				+17	+1	+20	+1	+23	+7	+26	+7	+28	+12
				+15	+3	+18	+3	+21	+9	+24	+9	+26	+14
18	30	-10	0	+11	+2	+15	+2	+17	+8	+21	+8	+24	+15
				+21	+2	+25	+2	+27	+8	+31	+8	+34	+15
				+19	+4	+22	+5	+25	+10	+28	+11	+32	+17
30	50	-12	0	+13	+2	+18	+2	+20	+9	+25	+9	+28	+17
				+25	+2	+30	+2	+32	+9	+37	+9	+40	+17
				+22	+5	+26	+6	+29	+12	+33	+13	+37	+20
50	80	-15	0	+15	+2	+21	+2	+24	+11	+30	+11	+33	+20
				+30	+2	+36	+2	+39	+11	+45	+11	+48	+20
				+26	+6	+32	+6	+35	+15	+41	+15	+44	+24
80	120	-20	0	+18	+3	+25	+3	+28	+13	+35	+13	+38	+23
				+38	+3	+45	+3	+48	+13	+55	+13	+58	+23
				+33	+8	+39	+9	+43	+18	+49	+19	+53	+28
120	180	-25	0	+21	+3	+28	+3	+33	+15	+40	+15	+45	+27
				+46	+3	+53	+3	+58	+15	+65	+15	+70	+27
				+40	+9	+46	+10	+52	+21	+58	+22	+64	+33
180	250	-30	0	+24	+4	+33	+4	+37	+17	+46	+17	+51	+31
				+54	+4	+63	+4	+67	+17	+76	+17	+81	+31
				+48	+10	+55	+12	+61	+23	+68	+25	+75	+37
250	315	-35	0	+27	+4	+36	+4	+43	+20	+52	+20	+57	+34
				+62	+4	+71	+4	+78	+20	+87	+20	+92	+34
				+54	+12	+62	+13	+70	+28	+78	+29	+84	+42
315	400	-40	0	+29	+4	+40	+4	+46	+21	+57	+21	+62	+37
				+69	+4	+80	+4	+86	+21	+97	+21	+102	+37
				+61	+12	+69	+15	+78	+29	+86	+32	+94	+45
400	500	-45	0	+32	+5	+45	+5	+50	+23	+63	+23	+67	+40
				+77	+5	+90	+5	+95	+23	+108	+23	+112	+40
				+68	+14	+78	+17	+86	+32	+96	+35	+103	+49

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania



Wał Średnica nominalna d		Łożyisko Odchyłka średnicy otworu Δ _{dmp}		Odchyłki średnicy wału i wynikające z nich pasowania Pola tolerancji									
				k5		k6		m5		m6		n5	
				Odchyłki (średnica czopa wału)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
500	630	−50	0	+29	0	+44	0	+55	+26	+70	+26	+73	+44
				+78	0	+94	0	+104	+26	+120	+26	+122	+44
				+68	+10	+81	+13	+94	+36	+107	+39	+112	+54
630	800	−75	0	+32	0	+50	0	+62	+30	+80	+30	+82	+50
				+107	0	+125	0	+137	+30	+155	+30	+157	+50
				+95	+12	+108	+17	+125	+42	+138	+47	+145	+62
800	1 000	−100	0	+36	0	+56	0	+70	+34	+90	+34	+92	+56
				+136	0	+156	0	+170	+34	+190	+34	+192	+56
				+122	+14	+136	+20	+156	+48	+170	+54	+178	+70
1 000	1 250	−125	0	+42	0	+66	0	+82	+40	+106	+40	+108	+66
				+167	0	+191	0	+207	+40	+231	+40	+233	+66
				+150	+17	+167	+24	+190	+57	+207	+64	+216	+83
1 250	1 600	−160	0	+50	0	+78	0	+98	+48	+126	+48	+128	+78
				+210	0	+238	0	+258	+48	+286	+48	+288	+78
				+189	+21	+208	+30	+237	+69	+256	+78	+267	+99
1 600	2 000	−200	0	+60	0	+92	0	+118	+58	+150	+58	+152	+92
				+260	0	+292	0	+318	+58	+350	+58	+352	+92
				+235	+25	+257	+35	+293	+83	+315	+93	+327	+117

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania

</

Tolerancje wału i uzyskiwane pasowania

<

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



Gniazdo oprawy		Łożysko		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy									
Średnica nominalna D		Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Pola tolerancji									
				F7		G6		G7		H5		H6	
				Odchyłki (średnica gniazda oprawy)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
6	10	0	-8	+13	+28	+5	+14	+5	+20	0	+6	0	+9
				-13	-36	-5	-22	-5	-28	0	-14	0	-17
				-16	-33	-7	-20	-8	-25	-2	-12	-2	-15
10	18	0	-8	+16	+34	+6	+17	+6	+24	0	+8	0	+11
				-16	-42	-6	-25	-6	-32	0	-16	0	-19
				-19	-39	-8	-23	-9	-29	-2	-14	-2	-17
18	30	0	-9	+20	+41	+7	+20	+7	+28	0	+9	+0	+13
				-20	-50	-7	-29	-7	-37	0	-18	0	-22
				-23	-47	-10	-26	-10	-34	-2	-16	-3	-19
30	50	0	-11	+25	+50	+9	+25	+9	+34	0	+11	0	+16
				-25	-61	-9	-36	-9	-45	0	-22	0	-27
				-29	-57	-12	-33	-13	-41	-3	-19	-3	-24
50	80	0	-13	+30	+60	+10	+29	+10	+40	0	+13	0	+19
				-30	-73	-10	-42	-10	-53	0	-26	0	-32
				-35	-68	-14	-38	-15	-48	-3	-23	-4	-28
80	120	0	-15	+36	+71	+12	+34	+12	+47	0	+15	0	+22
				-36	-86	-12	-49	-12	-62	0	-30	0	-37
				-41	-81	-17	-44	-17	-57	-4	-26	-5	-32
120	150	0	-18	+43	+83	+14	+39	+14	+54	0	+18	0	+25
				-43	-101	-14	-57	-14	-72	0	-36	0	-43
				-50	-94	-20	-51	-21	-65	-5	-31	-6	-37
150	180	0	-25	+43	+83	+14	+39	+14	+54	0	+18	0	+25
				-43	-108	-14	-64	-14	-79	0	-43	0	-50
				-51	-100	-21	-57	-22	-71	-6	-37	-7	-43
180	250	0	-30	+50	+96	+15	+44	+15	+61	0	+20	0	+29
				-50	-126	-15	-74	-15	-91	0	-50	0	-59
				-60	-116	-23	-66	-25	-81	-6	-44	-8	-51
250	315	0	-35	+56	+108	+17	+49	+17	+69	0	+23	0	+32
				-56	-143	-17	-84	-17	-104	0	-58	0	-67
				-68	-131	-26	-75	-29	-92	-8	-50	-9	-58
315	400	0	-40	+62	+119	+18	+54	+18	+75	0	+25	0	+36
				-62	-159	-18	-94	-18	-115	0	-65	0	-76
				-75	-146	-29	-83	-31	-102	-8	-57	-11	-65
400	500	0	-45	+68	+131	+20	+60	+20	+83	0	+27	0	+40
				-68	-176	-20	-105	-20	-128	0	-72	0	-85
				-83	-161	-32	-93	-35	-113	-9	-63	-12	-73
500	630	0	-50	+76	+146	+22	+66	+22	+92	0	+28	0	+44
				-76	-196	-22	-116	-22	-142	0	-78	0	-94
				-92	-180	-35	-103	-38	-126	-10	-68	-13	-81

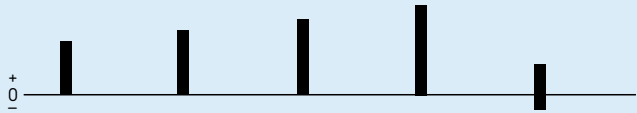
Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



Gniazdo oprawy Średnica nominalna D		Łożysko Odchyłka średnicy zewnątrznej Δ _{Dmp}		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy Pola tolerancji									
				F7		G6		G7		H5		H6	
				Odchyłki (średnica gniazda oprawy)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-) Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
630	800	0	-75	+80	+160	+24	+74	+24	+104	0	+32	0	+50
				-80	-235	-24	-149	-24	-179	0	-107	0	-125
				-102	-213	-41	-132	-46	-157	-12	-95	-17	-108
800	1 000	0	-100	+86	+176	+26	+82	+26	+116	0	+36	0	+56
				-86	-276	-26	-182	-26	-216	0	-136	0	-156
				-113	-249	-46	-162	-53	-189	-14	-122	-20	-136
1 000	1 250	0	-125	+98	+203	+28	+94	+28	+133	0	+42	0	+66
				-98	-328	-28	-219	-28	-258	0	-167	0	-191
				-131	-295	-52	-195	-61	-225	-17	-150	-24	-167
1 250	1 600	0	-160	+110	+235	+30	+108	+30	+155	0	+50	0	+78
				-110	-395	-30	-268	-30	-315	0	-210	0	-238
				-150	-355	-60	-238	-70	-275	-21	-189	-30	-208
1 600	2 000	0	-200	+120	+270	+32	+124	+32	+182	0	+60	0	+92
				-120	-470	-32	-324	-32	-382	0	-260	0	-292
				-170	-420	-67	-289	-82	-332	-25	-235	-35	-257
2 000	2 500	0	-250	+130	+305	+34	+144	+34	+209	0	+70	0	+110
				-130	-555	-34	-394	-34	-459	0	-320	0	-360
				-189	-496	-77	-351	-93	-400	-30	-290	-43	-317

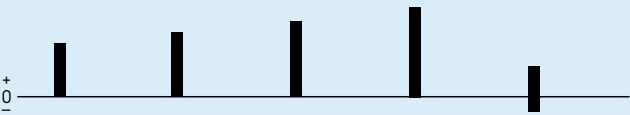
Tablica 8b

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



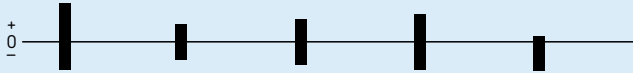
Gniazdo oprawy		Łożysko		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy									
Średnica nominalna D		Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Pola tolerancji									
				H7		H8		H9		H10		J6	
				Odchyłki (średnica gniazda oprawy)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad do		dolna	górna										
mm		μm		μm									
6	10	0	-8	0	+15	0	+22	0	+36	0	+58	-4	+5
				0	-23	0	-30	0	-44	0	-66	+4	-13
				-3	-20	-3	-27	-3	-41	-3	-63	+2	-11
10	18	0	-8	0	+18	0	+27	0	+43	0	+70	-5	+6
				0	-26	0	-35	0	-51	0	-78	+5	-14
				-3	-23	-3	-32	-3	-48	-3	-75	+3	-12
18	30	0	-9	0	+21	0	+33	0	+52	0	+84	-5	+8
				0	-30	0	-42	0	-61	0	-93	+5	-17
				-3	-27	-3	-39	-4	-57	-4	-89	+2	-14
30	50	0	-11	0	+25	0	+39	0	+62	0	+100	-6	+10
				0	-36	0	-50	0	-73	0	-111	+6	-21
				-4	-32	-4	-46	-5	-68	-5	-106	+3	-18
50	80	0	-13	0	+30	0	+46	0	+74	0	+120	-6	+13
				0	-43	0	-59	0	-87	0	-133	+6	-26
				-5	-38	-5	-54	-5	-82	-6	-127	+2	-22
80	120	0	-15	0	+35	0	+54	0	+87	0	+140	-6	+16
				0	-50	0	-69	0	-102	0	-155	+6	-31
				-5	-45	-6	-63	-6	-96	-7	-148	+1	-26
120	150	0	-18	0	+40	0	+63	0	+100	0	+160	-7	+18
				0	-58	0	-81	0	-118	0	-178	+7	-36
				-7	-51	-7	-74	-8	-110	-8	-170	+1	-30
150	180	0	-25	0	+40	0	+63	0	+100	0	+160	-7	+18
				0	-65	0	-88	0	-125	0	-185	+7	-43
				-8	-57	-10	-78	-10	-115	-11	-174	0	-36
180	250	0	-30	0	+46	0	+72	0	+115	0	+185	-7	+22
				0	-76	0	-102	0	-145	0	-215	+7	-52
				-10	-66	-12	-90	-13	-132	-13	-202	-1	-44
250	315	0	-35	0	+52	0	+81	0	+130	0	+210	-7	+25
				0	-87	0	-116	0	-165	0	-245	+7	-60
				-12	-75	-13	-103	-15	-150	-16	-229	-2	-51
315	400	0	-40	0	+57	0	+89	0	+140	0	+230	-7	+29
				0	-97	0	-129	0	-180	0	-270	+7	-69
				-13	-84	-15	-114	-17	-163	-18	-252	-4	-58
400	500	0	-45	0	+63	0	+97	0	+155	0	+250	-7	+33
				0	-108	0	-142	0	-200	0	-295	+7	-78
				-15	-93	-17	-125	-19	-181	-20	-275	-5	-66
500	630	0	-50	0	+70	0	+110	0	+175	0	+280	-	-
				0	-120	0	-160	0	-225	0	-330	-	-
				-16	-104	-19	-141	-21	-204	-22	-308	-	-

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



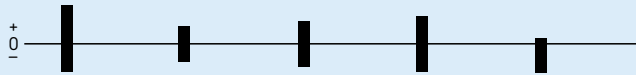
Gniazdo oprawy		Łożyisko		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy									
Średnica nominalna D		Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Pola tolerancji									
				H7		H8		H9		H10		J6	
				Odchyłki (średnica gniazda oprawy)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
630	800	0	-75	0	+80	0	+125	0	+200	0	+320	-	-
				0	-155	0	-200	0	-275	0	-395	-	-
				-22	-133	-27	-173	-30	-245	-33	-362	-	-
800	1 000	0	-100	0	+90	0	+140	0	+230	0	+360	-	-
				0	-190	0	-240	0	-330	0	-460	-	-
				-27	-163	-33	-207	-39	-291	-43	-417	-	-
1 000	1 250	0	-125	0	+105	0	+165	0	+260	0	+420	-	-
				0	-230	0	-290	0	-385	0	-545	-	-
				-33	-197	-41	-249	-48	-337	-53	-492	-	-
1 250	1 600	0	-160	0	+125	0	+195	0	+310	0	+500	-	-
				0	-285	0	-355	0	-470	0	-660	-	-
				-40	-245	-51	-304	-60	-410	-67	-593	-	-
1 600	2 000	0	-200	0	+150	0	+230	0	+370	0	+600	-	-
				0	-350	0	-430	0	-570	0	-800	-	-
				-50	-300	-62	-368	-74	-496	-83	-717	-	-
2 000	2 500	0	-250	0	+175	0	+280	0	+440	0	+700	-	-
				0	-425	0	-530	0	-690	0	-950	-	-
				-59	-366	-77	-453	-91	-599	-103	-847	-	-

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



Gniazdo oprawy		Łożysko		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy									
Średnica nominalna D		Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Pola tolerancji									
				J7		JS5		JS6		JS7		K5	
				Odchyłki (średnica gniazda oprawy)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna	μm									
mm		μm		μm									
6	10	0	-8	-7	+8	-3	+3	-4,5	+4,5	-7,5	+7,5	-5	+1
				+7	-16	+3	-11	+4,5	-12,5	+7,5	-15,5	+5	-9
				+4	-13	+1	-9	+3	-11	+5	-13	+3	-7
10	18	0	-8	-8	+10	-4	+4	-5,5	+5,5	-9	+9	-6	+2
				+8	-18	+4	-12	+5,5	-13,5	+9	-17	+6	-10
				+5	-15	+2	-10	+3	-11	+6	-14	+4	-8
18	30	0	-9	-9	+12	-4,5	+4,5	-6,5	+6,5	-10,5	+10,5	-8	+1
				+9	-21	+4,5	-13,5	+6,5	-15,5	+10,5	-19,5	+8	-10
				+6	-18	+2	-11	+4	-13	+7	-16	+6	-8
30	50	0	-11	-11	+14	-5,5	+5,5	-8	+8	-12,5	+12,5	-9	+2
				+11	-25	+5,5	-16,5	+8	-19	+12,5	-23,5	+9	-13
				+7	-21	+3	-14	+5	-16	+9	-20	+6	-10
50	80	0	-13	-12	+18	-6,5	+6,5	-9,5	+9,5	-15	+15	-10	+3
				+12	-31	+6,5	-19,5	+9,5	-22,5	+15	-28	+10	-16
				+7	-26	+3	-16	+6	-19	+10	-23	+7	-13
80	120	0	-15	-13	+22	-7,5	+7,5	-11	+11	-17,5	+17,5	-13	+2
				+13	-37	+7,5	-22,5	+11	-26	+17,5	-32,5	+13	-17
				+8	-32	+4	-19	+6	-21	+12	-27	+9	-13
120	150	0	-18	-14	+26	-9	+9	-12,5	+12,5	-20	+20	-15	+3
				+14	-44	+9	-27	+12,5	-30,5	+20	-38	+15	-21
				+7	-37	+4	-22	+7	-25	+13	-31	+10	-16
150	180	0	-25	-14	+26	-9	+9	-12,5	+12,5	-20	+20	-15	+3
				+14	-51	+9	-34	+12,5	-37,5	+20	-45	+15	-28
				+6	-43	+3	-28	+6	-31	+12	-37	+9	-22
180	250	0	-30	-16	+30	-10	+10	-14,5	+14,5	-23	+23	-18	+2
				+16	-60	+10	-40	+14,5	-44,5	+23	-53	+18	-32
				+6	-50	+4	-34	+6	-36	+13	-43	+12	-26
250	315	0	-35	-16	+36	-11,5	+11,5	-16	+16	-26	+26	-20	+3
				+16	-71	+11,5	-46,5	+16	+51	+26	-61	+20	-38
				+4	-59	+4	-39	+7	-42	+14	-49	+12	-30
315	400	0	-40	-18	+39	-12,5	+12,5	-18	+18	-28,5	+28,5	-22	+3
				+18	-79	+12,5	-52,5	+18	-58	+28,5	-68,5	+22	-43
				+5	-66	+4	-44	+7	-47	+15	-55	+14	-35
400	500	0	-45	-20	+43	-13,5	+13,5	-20	+20	-31,5	+31,5	-25	+2
				+20	-88	+13,5	-58,5	+20	-65	+31,5	-76,5	+25	-47
				+5	-73	+4	-49	+8	-53	+17	-62	+16	-38
500	630	0	-50	-	-	-14	+14	-22	+22	-35	+35	-	-
				-	-	+14	-64	+22	-72	+35	-85	-	-
				-	-	+4	-54	+9	-59	+19	-69	-	-

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



Gniazdo oprawy		Łożysko		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy									
Średnica nominalna D		Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Pola tolerancji									
				J7		JS5		JS6		JS7		K5	
				Odchyłki (średnica gniazda oprawy)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
630	800	0	-75	-	-	-16	+16	-25	+25	-40	+40	-	-
				-	-	+16	-91	+25	-100	+40	-115	-	-
				-	-	+4	-79	+8	-83	+18	-93	-	-
800	1 000	0	-100	-	-	-18	+18	-28	+28	-45	+45	-	-
				-	-	+18	-118	+28	-128	+45	-145	-	-
				-	-	+4	-104	+8	-108	+18	-118	-	-
1 000	1 250	0	-125	-	-	-21	+21	-33	+33	-52	+52	-	-
				-	-	+21	-146	+33	-158	+52	-177	-	-
				-	-	+4	-129	+9	-134	+20	-145	-	-
1 250	1 600	0	-160	-	-	-25	+25	-39	+39	-62	+62	-	-
				-	-	+25	-185	+39	-199	+62	-222	-	-
				-	-	+4	-164	+9	-169	+22	-182	-	-
1 600	2 000	0	-200	-	-	-30	+30	-46	+46	-75	+75	-	-
				-	-	+30	-230	+46	-246	+75	-275	-	-
				-	-	+5	-205	+11	-211	+25	-225	-	-
2 000	2 500	0	-250	-	-	-35	+35	-55	+55	-87	+87	-	-
				-	-	+35	-285	+55	-305	+87	-337	-	-
				-	-	+5	-255	+12	-262	+28	-278	-	-

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



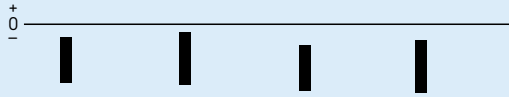
Gniazdo oprawy Średnica nominalna D		Łożysko Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ_{Dmp}		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy Pola tolerancji									
				K6		K7		M5		M6		M7	
ponad		do		dolna		górna		Odchyłki (średnica gniazda oprawy)		Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)		Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)	
mm		μm		μm		μm		μm		μm		μm	
6	10	0	-8	-7	+2	-10	+5	-10	-4	-12	-3	-15	0
				+7	-10	+10	-13	+10	-4	+12	-5	+15	-8
				+5	-8	+7	-10	+8	-2	+10	-3	+12	-5
10	18	0	-8	-9	+2	-12	+6	-12	-4	-15	-4	-18	0
				+9	-10	+12	-14	+12	-4	+15	-4	+18	-8
				+7	-8	+9	-11	+10	-2	+13	-2	+15	-5
18	30	0	-9	-11	+2	-15	+6	-14	-4	-17	-4	-21	0
				+11	-11	+15	-15	+14	-4	+17	-5	+21	-9
				+8	-8	+12	-12	+12	-2	+14	-2	+18	-6
30	50	0	-11	-13	+3	-18	+7	-16	-5	-20	-4	-25	0
				+13	-14	+18	-18	+16	-6	+20	-7	+25	-11
				+10	-11	+14	-14	+13	-3	+17	-4	+21	-7
50	80	0	-13	-15	+4	-21	+9	-19	-6	-24	-5	-30	0
				+15	-17	+21	-22	+19	-7	+24	-8	+30	-13
				+11	-13	+16	-17	+16	-4	+20	-4	+25	-8
80	120	0	-15	-18	+4	-25	+10	-23	-8	-28	-6	-35	0
				+18	-19	+25	-25	+23	-7	+28	-9	+35	-15
				+13	-14	+20	-20	+19	-3	+23	-4	+30	-10
120	150	0	-18	-21	+4	-28	+12	-27	-9	-33	-8	-40	0
				+21	-22	+28	-30	+27	-9	+33	-10	+40	-18
				+15	-16	+21	-23	+22	-4	+27	-4	+33	-11
150	180	0	-25	-21	+4	-28	+12	-27	-9	-33	-8	-40	0
				+21	-22	+28	-37	+27	-16	+33	-17	+40	-25
				+14	-22	+20	-29	+21	-10	+26	-10	+32	-17
180	250	0	-30	-24	+5	-33	+13	-31	-11	-37	-8	-46	0
				+24	-35	+33	-43	+31	-19	+37	-22	+46	-30
				+16	-27	+23	-33	+25	-13	+29	-14	+36	-20
250	315	0	-35	-27	+5	-36	+16	-36	-13	-41	-9	-52	0
				+27	-40	+36	-51	+36	-22	+41	-26	+52	-35
				+18	-31	+24	-39	+28	-14	+32	-17	+40	-23
315	400	0	-40	-29	+7	-40	+17	-39	-14	-46	-10	-57	0
				+29	-47	+40	-57	+39	-26	+46	-30	+57	-40
				+18	-36	+27	-44	+31	-18	+35	-19	+44	-27
400	500	0	-45	-32	+8	-45	+18	-43	-16	-50	-10	-63	0
				+32	-53	+45	-63	+43	-29	+50	-35	+63	-45
				+20	-41	+30	-48	+34	-20	+38	-23	+48	-30
500	630	0	-50	-44	0	-70	0	-	-	-70	-26	-96	-26
				+44	-50	+70	-50	-	-	+70	-24	+96	-24
				+31	-37	+54	-34	-	-	+57	-11	+80	-8

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



Gniazdo oprawy Średnica nominalna D		Łożysko Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy Pola tolerancji									
				K6		K7		M5		M6		M7	
ponad	do	dolna	górna	Odchyłki (średnica gniazda oprawy)									
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)									
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)									
mm		μm		μm									
630	800	0	-75	-50	0	-80	0	-	-	-80	-30	-110	-30
				+50	-75	+80	-75	-	-	+80	-45	+110	-45
				+33	-58	+58	-53	-	-	+63	-28	+88	-23
800	1 000	0	-100	-56	0	-90	0	-	-	-90	-34	-124	-34
				+56	-100	+90	-100	-	-	+90	-66	+124	-66
				+36	-80	+63	-73	-	-	+70	-46	+97	-39
1 000	1 250	0	-125	-66	0	-105	0	-	-	-106	-40	-145	-40
				+66	-125	+105	-125	-	-	+106	-85	+145	-85
				+42	-101	+72	-92	-	-	+82	-61	+112	-52
1 250	1 600	0	-160	-78	0	-125	0	-	-	-126	-48	-173	-48
				+78	-160	+125	-160	-	-	+126	-112	+173	-112
				+48	-130	+85	-120	-	-	+96	-82	+133	-72
1 600	2 000	0	-200	-92	0	-150	0	-	-	-158	-58	-208	-58
				+92	-200	+150	-200	-	-	+150	-142	+208	-142
				+57	-165	+100	-150	-	-	+115	-107	+158	-92
2 000	2 500	0	-250	-110	0	-175	0	-	-	-178	-68	-243	-68
				+110	-250	+175	-250	-	-	+178	-182	+243	-182
				+67	-207	+116	-191	-	-	+135	-139	+184	-123

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



Gniazdo oprawy		Łożysko		Odchytki graniczne gniazda, wciski lub luzy							
Średnica nominalna D		Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Pola tolerancji							
				N6		N7		P6		P7	
				Odchytki (średnica gniazda oprawy)							
				Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)							
				Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)							
ponad	do	dolna	górna								
mm		μm		μm							
6	10	0	-8	-16	-7	-19	-4	-21	-12	-24	-9
				+16	-1	+19	-4	+21	+4	+24	+1
				+14	+1	+16	-1	+19	+6	+21	+4
10	18	0	-8	-20	-9	-23	-5	-26	-15	-29	-11
				+20	+1	+23	-3	+26	+7	+29	+3
				+18	+3	+20	0	+24	+9	+26	+6
18	30	0	-9	-24	-11	-28	-7	-31	-18	-35	-14
				+24	+2	+28	-2	+31	+9	+35	+5
				+21	+5	+25	+1	+28	+12	+32	+8
30	50	0	-11	-28	-12	-33	-8	-37	-21	-42	-17
				+28	+1	+33	-3	+37	+10	+42	+6
				+25	+4	+29	+1	+34	+13	+38	+10
50	80	0	-13	-33	-14	-39	-9	-45	-26	-51	-21
				+33	+1	+39	-4	+45	+13	+51	+8
				+29	+5	+34	+1	+41	+17	+46	+13
80	120	0	-15	-38	-16	-45	-10	-52	-30	-59	-24
				+38	+1	+45	-5	+52	+15	+59	+9
				+33	+6	+40	0	+47	+20	+54	+14
120	150	0	-18	-45	-20	-52	-12	-61	-36	-68	-28
				+45	+2	+52	-6	+61	+18	+68	+10
				+39	+8	+45	+1	+55	+24	+61	+17
150	180	0	-25	-45	-20	-52	-12	-61	-36	-68	-28
				+45	-5	+52	-13	+61	+11	+68	+3
				+38	+2	+44	-5	+54	+18	+60	+11
180	250	0	-30	-51	-22	-60	-14	-70	-41	-79	-33
				+51	-8	+60	-16	+70	+11	+79	+3
				+43	0	+50	-6	+62	+19	+69	+13
250	315	0	-35	-57	-25	-66	-14	-79	-47	-88	-36
				+57	-10	+66	-21	+79	+12	+88	+1
				+48	-1	+54	-9	+70	+21	+76	+13
315	400	0	-40	-62	-26	-73	-16	-87	-51	-98	-41
				+62	-14	+73	-24	+87	+11	+98	+1
				+51	-3	+60	-11	+76	+22	+85	+14
400	500	0	-45	-67	-27	-80	-17	-95	-55	-108	-45
				+67	-18	+80	-28	+95	+10	+108	0
				+55	-6	+65	-13	+83	+22	+93	+15
500	630	0	-50	-88	-44	-114	-44	-122	-78	-148	-78
				+88	-6	+114	-6	+122	+28	+148	+28
				+75	+7	+98	+10	+109	+41	+132	+44

Tolerancje gniazda oprawy i uzyskiwane pasowania



Gniazdo oprawy		Średnica nominalna D		Łożysko Odchyłka średnicy zewnętrznej Δ _{Dmp}		Odchyłki graniczne gniazda, wciski lub luzy							
						Pola tolerancji							
						N6		N7		P6		P7	
						Odchyłki (średnica gniazda oprawy)							
						Teoretyczny wcisk (+)/luz (-)							
						Prawdopodobny wcisk (+)/luz (-)							
ponad	do	dolna	górna										
mm		μm		μm									
630	800	0	-75	-100	-50	-130	-50	-138	-88	-168	-88		
				+100	-25	+130	-25	+138	+13	+168	+13		
				+83	-8	+108	-3	+121	+30	+146	+35		
800	1 000	0	-100	-112	-56	-146	-56	-156	-100	-190	-100		
				+112	-44	+146	-44	+156	0	+190	0		
				+92	-24	+119	-17	+136	+20	+163	+27		
1 000	1 250	0	-125	-132	-66	-171	-66	-186	-120	-225	-120		
				+132	-59	+171	-59	+186	-5	+225	-5		
				+108	-35	+138	-26	+162	+19	+192	+28		
1 250	1 600	0	-160	-156	-78	-203	-78	-218	-140	-265	-140		
				+156	-82	+203	-82	+218	-20	+265	-20		
				+126	-52	+163	-42	+188	+10	+225	+20		
1 600	2 000	0	-200	-184	-92	-242	-92	-262	-170	-320	-170		
				+184	-108	+242	-108	+262	-30	+320	-30		
				+149	-73	+192	-58	+227	+5	+270	+20		
2 000	2 500	0	-250	-220	-110	-285	-110	-305	-195	-370	-195		
				+220	-140	+285	-140	+305	-55	+370	-55		
				+177	-97	+226	-81	+262	-12	+311	+4		

Dokładność wymiarów, kształtu i obrotu elementów współpracujących

Dokładność walcowych osadzeń łożysk na wale lub w oprawach, powierzchni przylegania dla podkładek do łożysk wzdłużnych, powierzchni przylegania pierścieni łożysk do osadzeń na wale lub w oprawie itp. powinna odpowiadać dokładności zastosowanego łożyska. Poniżej podano wytyczne w zakresie dokładności wymiarów, kształtu i obrotu, które powinny być zachowane przy obróbce elementów współpracujących.

Tolerancje wymiarowe

Dla łożysk wykonanych w normalnej klasie dokładności maksymalne odchyłki wymiarów walcowych osadzeń na wale powinny odpowiadać co najmniej klasie 6, a w oprawie – co najmniej klasie 7. W przypadku montażu łożysk za pomocą tulei wciąganych lub wciskanych dopuszczalne są dla osadzenia tulei większe tolerancje średnicy (klasa 9 lub 10) niż dla osadzeń łożysk (→ **tablica 9**). Wartości tolerancji dla znormalizowanych klas tolerancji zgodnych z ISO 286-1:1988 zostały podane w **tablicy 10**. W odniesieniu do łożysk precyzyjnych należy stosować odpowiednio dokładniejsze klasy.

Tolerancje walcowości

Tolerancje walcowości, mierzonej zgodnie z ISO 1101:2004 powinny odpowiadać klasie dokładniejszej o 1 do 2 klas IT niż przepisana tolerancja wymiarowa, zależnie od wymagań. Przykładowo, jeżeli czop wału (pod łożysko) został obrobiony w polu tolerancji m6, wówczas dokładność kształtu powinna odpowiadać klasie IT5 lub IT4. Wartość tolerancji walcowości t_1 otrzymuje się w tym przypadku przy założonej średnicy wału 150 mm z zależności $t_1 = IT5/2 = 18/2 = 9 \mu\text{m}$. Ze względu na to, że tolerancja t_1 dotyczy promienia, wielkość $2 \times t_1$ odnosi się do średnicy wału. W **tablicy 11** na **stronie 196** podano wytyczne dla tolerancji walcowości oraz tolerancji bicia promieniowego całkowitego dla różnych klas dokładności łożyska.

Jeśli łożysko jest mocowane na wale za pomocą tulei wciąganej lub wciskanej, tolerancja walcowości osadzenia tulei powinna wynosić IT5/2 (dla h9) lub IT7/2 (dla h10) (→ **tablica 9**).

Tolerancje prostopadłości

Powierzchnie przylegania odsadzeń do pierścieni łożysk powinny mieć tolerancję prostopadłości, określoną wg ISO 1101:2004, zaciętną co najmniej o jedną klasę IT w stosunku do tolerancji średnicy przylegającego osadzenia walcowego. Dla osadzenia podkładek łożyska wzdłużnego tolerancja prostopadłości nie powinna przekraczać wartości odpowiadającej IT5. Zalecane wartości tolerancji prostopadłości i bicia osiowego całkowitego można znaleźć w **tablicy 11, strona 196**.

Tablica 9

Tolerancje czopa wału dla łożysk montowanych na tulejach

Średnica wału d Nominalna ponad do		Tolerancje średnicy i kształtu					
		h9 Odchytki			h10 Odchytki		
		górna	dolna	max	górna	dolna	max
mm		μm					
10	18	0	-43	8	0	-70	18
18	30	0	-52	9	0	-84	21
30	50	0	-62	11	0	-100	25
50	80	0	-74	13	0	-120	30
80	120	0	-87	15	0	-140	35
120	180	0	-100	18	0	-160	40
180	250	0	-115	20	0	-185	46
250	315	0	-130	23	0	-210	52
315	400	0	-140	25	0	-230	57
400	500	0	-155	27	0	-250	63
500	630	0	-175	32	0	-280	70
630	800	0	-200	36	0	-320	80
800	1 000	0	-230	40	0	-360	90
1 000	1 250	0	-260	47	0	-420	105

¹⁾ Zalecana tolerancja wałowości wynosi IT5/2 lub IT7/2, ale ze względu na fakt, że pole tolerancji wałowości t jest związane z promieniem, wartości podane w tabeli nie zostały podzielone przez dwa, gdyż odnoszą się do średnicy

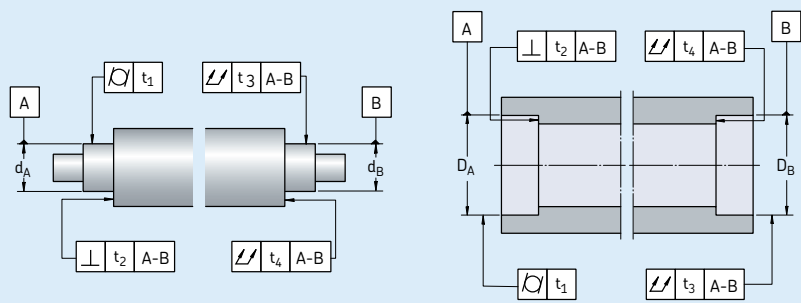
Tablica 10

Klasy tolerancji wymiarowych zgodne z ISO (długość, szerokość, średnica itp.)

Wymiar nominalny ponad do		Klasa tolerancji											
		IT1 max	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
mm		μm											
1	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500	630	—	—	—	—	32	44	70	110	175	280	440	700
630	800	—	—	—	—	36	50	80	125	200	320	500	800
800	1 000	—	—	—	—	40	56	90	140	230	360	560	900
1 000	1 250	—	—	—	—	47	66	105	165	260	420	660	1050
1 250	1 600	—	—	—	—	55	78	125	195	310	500	780	1250
1 600	2 000	—	—	—	—	65	92	150	230	370	600	920	1 500
2 000	2 500	—	—	—	—	78	110	175	280	440	700	1 100	1 750

Tablica 11

Dokładność kształtu i położenia czopów wałów i gniazd opraw



Powierzchnia tolerowana

Charakterystyka

Oznaczenie tolerancji

Wartość tolerancji

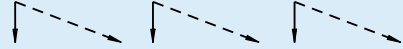
Odchyłki dopuszczalne

Klasa dokładności łożyska¹⁾

Normalna, CLN

P6

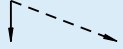
P5



Walcowa powierzchnia czopa lub gniazda

Walcowość	d	t_1	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Bicie promieniowe całkowite	⌢	t_3	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Płaskie odsadzenie						
Prostopadłość	⊥	t_2	IT5	IT4	IT3	IT2
Bicie osiowe całkowite	⌢	t_4	IT5	IT4	IT3	IT2

Objaśnienie



Dla normalnych wymagań

Dla specjalnych wymagań w zakresie dokładności obrotu lub równomiernego podparcia

¹⁾ W przypadku łożysk precyzyjnych (klasa dokładności P4 lub wyższa) proszę skorzystać z katalogu SKF „Łożyska precyzyjne”

Tolerancje dla czopów stożkowych

W przypadku łożysk montowanych bezpośrednio na czopie stożkowym, tolerancja średnicy osadzenia może być szersza niż dla powierzchni osadzenia na czopie walcowym. **Rys. 18** przedstawia czop wału o średnicy w klasie tolerancji 9, podczas gdy wymagania odnośnie tolerancji kształtu są identyczne jak dla walcowej powierzchni osadzenia. Zalecenia SKF dotyczące powierzchni osadzeń na czopach stożkowych wałów są następujące.

- Dopuszczalna odchyłka stożkowatości powierzchni osadzenia jest równa $\pm$ tolerancji zgodnej z IT7/2, wyznaczonej na podstawie szerokości łożyska B ($\rightarrow$ **rys. 18**). Wartość odchyłki można obliczyć ze wzoru

$$\Delta_k = IT7/2 \cdot B$$

Dopuszczalny zakres stożkowatości wynosi więc

$$V_k = 1/k \pm IT7/2 \cdot B$$

gdzie

V_k = dopuszczalny zakres tolerancji stożkowatości

Δ_k = dopuszczalna odchyłka stożkowatości

k = współczynnik stożkowatości

12 dla zbieżności 1:12

30 dla zbieżności 1:30

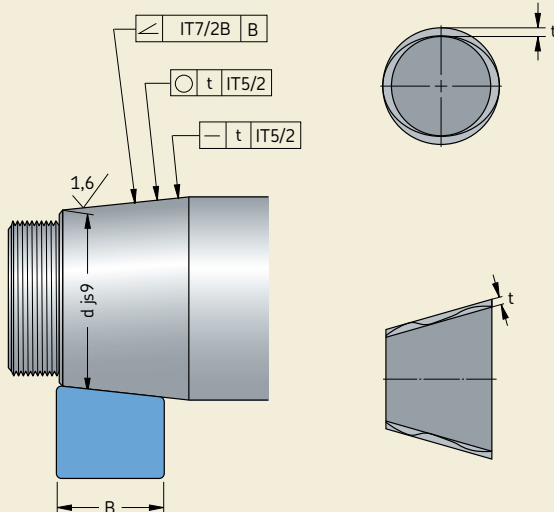
B = szerokość łożyska, mm

IT7 = szerokość pola tolerancji wyznaczona na podstawie szerokości łożyska, mm

- Tolerancja prostości wynosi IT5/2 w odniesieniu do średnicy d i jest określana w następujący sposób: „Dla każdego przekroju osiowego przez czop stożkowy pole tolerancji wyznaczają dwie równoległe linie odległe od siebie o t'' ”.
- Dopuszczalna odchyłka kołowości wynosi IT5/2 w odniesieniu do średnicy d i jest określana w następujący sposób: „Dla każdego przekroju poprzecznego przez czop stożkowy granicę pola tolerancji wyznaczają dwa współśrodkowe okręgi, które różnią się promieniami o wielkość t'' ”. W przypadku wysokich wymagań dotyczących dokładności obrotu zalecana wartość tolerancji kołowości wynosi IT4/2.

Najlepszym sposobem sprawdzenia czy czop stożkowy spełnia zalecane wymagania odnośnie tolerancji jest wykorzystanie specjalnych sprawdzianów stożkowatości opartych na dwóch siódłach. Bardziej praktyczna metoda, choć nieco mniej dokładna, polega na wykorzystaniu pier-

Rys. 18



ścieni sprawdzających, specjalnych sprawdzianów stożkowych lub liniałów sinusowych.

Chropowatość powierzchni osadzenia łożysk

Chropowatość powierzchni osadzenia łożysk nie ma aż tak dużego wpływu na prawidłową pracę łożyska, jak dokładność wymiarów, kształtu i obrotu. Jednak wymagana odchyłka, a zatem i charakter pasowania są tym bardziej zachowane, im mniejsza jest chropowatość powierzchni pasowanych. Dla łożyskowań o mniejszym znaczeniu dopuszczalne są stosunkowo duże wartości chropowatości powierzchni.

W odniesieniu do łożyskowań, którym stawiane są wyższe wymagania w zakresie dokładności, zamieszczono w **tablicy 12** wytyczne dla parametru chropowatości R_a w zależności od dokładności wymiarowej powierzchni osadzenia łożysk. Zalecenia te odnoszą się do szlifowanych powierzchni osadzenia, gdyż właśnie w ten sposób zwykle wykańczane są miejsca osadzenia łożysk.

Powierzchnie bieżne na wałach i w oprawach

Powierzchnie bieżne elementów współpracujących z łożyskami walcowymi z jednym tylko pierścieniem lub złożeniami walcowymi wzdłużnymi powinny mieć twardość w granicach od 58 do 64 HRC, jeśli nośność łożyska lub złożenia elementów tocznych ma być w pełni wykorzystana.

Parametry określające chropowatość powierzchni powinny wynosić $R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$ lub $R_z \leq 1 \mu\text{m}$. Dla łożyskowań o mniejszym znaczeniu twardość może być mniejsza i dopuszcza się większą chropowatość powierzchni.

Odchyłki okrągłości nie mogą przekraczać 25 %, a odchyłki walcowości 50 % danej tolerancji średnicy powierzchni bieżnej.

W odniesieniu do bieżni złożów igiełkowych wzdłużnych lub walcowych wzdłużnych obowiązują te same bicia osiowe, jak dla swobodnych pierścieni wewnętrznych i zewnętrznych łożysk wzdłużnych, patrz **tablica 10, strona 132**.

Jako materiały na powierzchnie bieżne stosuje się w takich przypadkach stale hartowane na wskroś, np. 100Cr6 wg ISO 683-17:1999, stale do utwardzania powierzchniowego (nawęglania), np. 20Cr3 lub 17MnCr5 wg ISO 683-17:1999),

jak również stale do hartowania indukcyjnego, które mogą być hartowane miejscowo.

Głębokość hartowania, zalecana dla bieżni elementów współpracujących ze stali do nawęglania, zależy od wielu czynników, między innymi od stosunku obciążeń dynamicznych i statycznych odpowiednio do nośności dynamicznej i statycznej (P/C oraz P_0/C_0), jak również od twardości rdzenia. Trudno zatem ustalić ogólnie obowiązujące wytyczne. Przykładowo, przy obciążeniu ściśle statycznym aż do wielkości nośności statycznej i twardości rdzenia 350 HV zalecana głębokość warstwy utwardzonej wynosi 0,1 średnicy elementu tocznego. Przy obciążeniach dynamicznych dopuszcza się mniejszą głębokość utwardzania. Więcej informacji można uzyskać kontaktując się z Działem Doradztwa Technicznego SKF.

Tablica 12

Zalecane wartości chropowatości powierzchni osadzenia łożysk

Średnica osadzenia łożyska d (D) ¹⁾	Zalecane wartości R_a dla szlifowanych powierzchni osadzeń (Numery klasy chropowatości) Klasa tolerancji średnicy			
		ponad IT7	IT6	IT5
mm	μm			
–	80	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)
80	500	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)
500	1 250	3,2 (N8) ²⁾	1,6 (N7)	1,6 (N7)

¹⁾ W przypadku średnic > 1 250 mm prosimy skonsultować się z Działem Doradztwa Technicznego SKF

²⁾ Przy montażu łożysk metodą hydrauliczną (metoda wtrysku olejowego) chropowatość powierzchni R_a nie powinna przekraczać 1,6 μm

Ustalenie osiowe łożysk

Na ogół samo ciasne pasowanie nie wystarcza, aby ustalić pierścienie łożyska w kierunku osiowym. Z reguły wymagane jest dodatkowe ustalenie osiowe lub zabezpieczenie.

W przypadku łożysk ustalających obydwa pierścienie powinny być ustalone w obu kierunkach.

W przypadku łożysk swobodnych, jeśli chodzi o łożyska nierozłączne, tylko pierścień o ciasniejszym pasowaniu – z reguły jest nim pierścień wewnętrzny – jest zamocowany w kierunku osiowym; drugi pierścień musi mieć możliwość przesuwu osiowego w stosunku do elementu współpracującego. Powyższa uwaga nie dotyczy łożysk CARB, których obydwa pierścienie są ustalone osiowo.

W przypadku łożysk swobodnych o konstrukcji rozłącznej, np. łożysk walcowych, obydwa pierścienie łożyska są ustalone w kierunku osiowym.

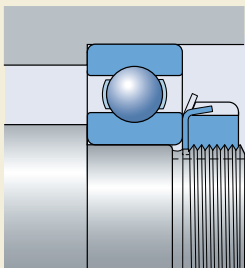
Dla węzłów łożyskowych nastawnych, zwanych też „dwustronnie ustalonymi”, wystarczy ustalić osiowo pierścienie łożysk tylko z jednej strony.

Sposoby ustaleń

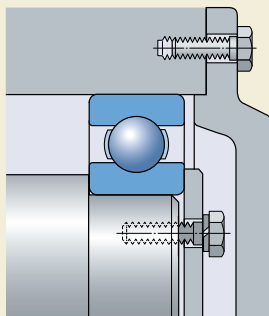
Łożyska z otworem walcowym

Pierścienie łożysk o ciasnym pasowaniu są zwykle tak zabudowane, że dociska się je z jednej strony do odsadzenia wału lub oprawy (→ rys. 19). Po przeciwległej stronie, pierścienie wewnętrzne są ustalone na ogół za pomocą nakrętki z zabezpieczającą podkładką zębatą, np. typu KM

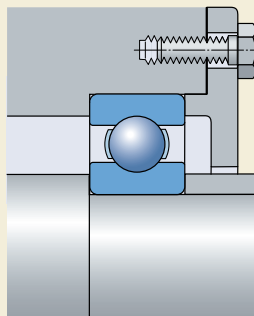
Rys. 19



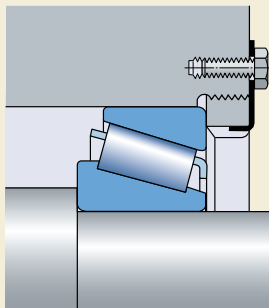
Rys. 20



Rys. 21



Rys. 22



+ MB (→ **rys. 19**), tak jak przedstawiono w rozdziale „Nakrętki łożyskowe” (→ **strona 1007**) lub za pomocą płytki oporowej przykręconej do powierzchni czołowej wału (→ **rys. 20**). Do ustalenia pierścienia zewnętrznego służy zwykle pokrywa zamykająca otwór oprawy (→ **rys. 21**) lub ewentualnie – w specjalnych przypadkach – pierścień gwintowany wkręcony w oprawę (→ **rys. 22**).

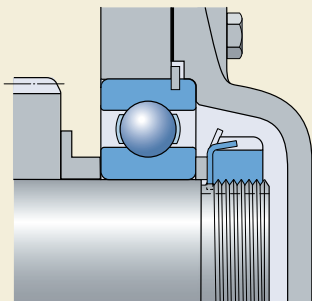
Zamiast stałych odsadzeń na wale lub w oprawie często stosowane są również tuleje dystansowe lub pierścienie odległościowe między pierścieniami łożysk lub między pierścieniem łożyska a przylegającym elementem maszynowym, np. kołem zębatym (→ **rys. 23**).

Bardzo wygodne ze względu na niewielką potrzebną przestrzeń jest ustalenie osiowe łożysk tocznych za pomocą pierścieni osadczych sprężynujących, co dodatkowo umożliwia szybki montaż i demontaż oraz upraszcza obróbkę części współpracujących. W przypadku występowania dużych sił osiowych należy między pierścieniem łożyska a pierścieniem osadczym sprężynującym założyć pierścień oporowy w celu zmniejszenia naprężeń zginających w pierścieniu sprężynującym (→ **rys. 24**). Jeżeli jest to konieczne, luz osiowy między pierścieniem osadczym sprężynującym a rowkiem, w którym on się znajduje, może być zmniejszony przez odpowiedni dobór tolerancji pierścienia oporowego albo przez zastosowanie dodatkowych podkładek. Łożyska z rowkiem osadczym na pierścieniu zewnętrznym (→ **rys. 23**) umożliwiają wyjątkowo zwartą i prostą kon-

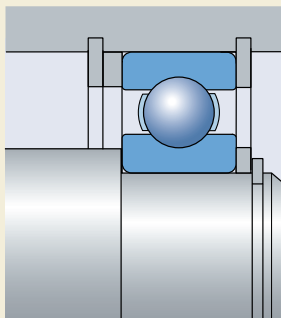
strukcję węzła łożyskowego (→ rozdział „Łożyska kulkowe zwykłe”, **strona 287**).

Inne sposoby ustalania osiowego, które są stosowane przede wszystkim w odniesieniu do łożyskowań o dużej dokładności, polegają na zastosowaniu pasowań wtłaczanych, np. za pomocą tulei stopniowanych. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w katalogu SKF „Łożyska precyzyjne”.

Rys. 23



Rys. 24



Łożyska z otworem stożkowym

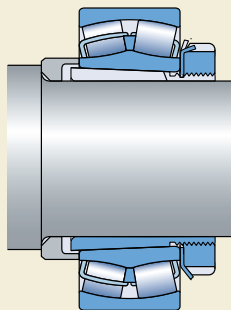
Łożyska z otworem stożkowym zakładane bezpośrednio na czop stożkowy ustalane są osiowo za pomocą nakrętki zabezpieczającej nakręcanej na gwintowaną część czopa wału (→ rys. 25).

Łożyska montowane na tulei wciąganej są ustalane osiowo zwykle z jednej strony za pomocą pierścienia odległościowego między odsadzeniem wału a pierścieniem wewnętrznym łożyska, a z drugiej strony za pomocą nakrętki stanowiącej komplet z tuleją (→ rys. 26). W przypadku montażu łożysk na gładkim wale bez odsadzeń (→ rys. 27), dopuszczalne obciążenie osiowe łożyska zależy od tarcia między wałem a tuleją, patrz rozdziały

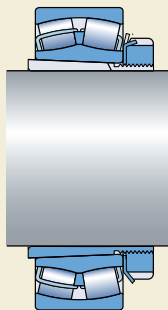
- „Łożyska kulkowe wahliwe”, **strona 469** oraz
- „Łożyska baryłkowe”, **strona 695**.

Przy zabudowie łożysk z otworem stożkowym na tulei wciskanej, pierścień wewnętrzny musi być odpowiednio podparty w stosunku do odsadzenia, np. za pomocą pierścienia odległościowego, który często jest częścią uszczelnienia labiryntowego. Tuleja wciskana musi być zabezpieczona przed przesunięciem osiowym za pomocą płytki oporowej lub nakrętki (→ rys. 28).

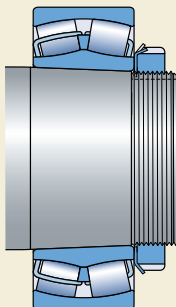
Rys. 26



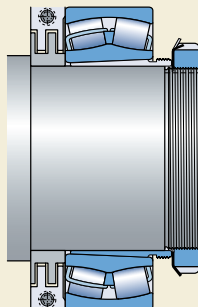
Rys. 27



Rys. 25



Rys. 28



Wymiary związane z zabudową łożysk

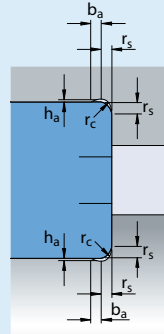
Wymiary związane z zabudową łożysk (średnice odsadzeń wałów i opraw, tuleje dystansowe itp.) powinny być zasadniczo tak dobrane, aby z jednej strony zapewnić dostatecznie duże powierzchnie oparcia, a z drugiej strony zabezpieczyć obracające się części łożyska przed zetknięciem z częściami nieruchomymi. Wymiary związane z zabudową łożysk są podane dla każdego łożyska w tablicach wymiarowych.

Przejście między powierzchnią osadzenia łożyska a odsadzeniem wału lub oprawy może być wykonane promieniem zaokrąglenia lub w postaci zagłębienia wynikającego z podtoczenia. Dla zaokrąglenia przejścia wałka lub oprawy należy przyjmować wartości promieni r_a i r_b podane w tablicach wyrobów, natomiast wymiary podtoczeń są określone w **tablicy 13**.

Rozkład naprężeń w wale jest tym korzystniejszy, im większy jest promień zaokrąglenia przejścia. Dla wałów bardzo silnie obciążonych wymagany jest najczęściej duży promień zaokrąglenia przejścia. W takim przypadku, aby zapewnić pierścieniowi wewnętrznemu dostatecznie dużą powierzchnię przylegania, należy zastosować między łożyskiem a odsadzeniem wału pierścień dystansowy. Musi on mieć krągłędzie odpowiednio dopasowane, aby nie stykał się z zaokrągleniem przejścia (→ **rys. 29**).

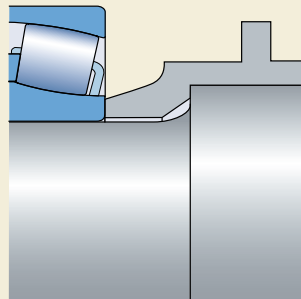
Tablica 13

Zagłębienia wynikające z podtoczenia



Wymiar ścięcia montażowego łożyska r_s	Wymiary podtoczenia		
	b_a	h_a	r_c
mm	mm		
1	2	0,2	1,3
1,1	2,4	0,3	1,5
1,5	3,2	0,4	2
2	4	0,5	2,5
2,1	4	0,5	2,5
3	4,7	0,5	3
4	5,9	0,5	4
5	7,4	0,6	5
6	8,6	0,6	6
7,5	10	0,6	7
9,5	12	0,6	9

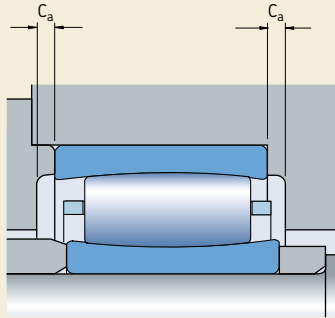
Rys. 29



Łożyska toroidalne CARB

Łożyska CARB mają zdolność kompensacji zjawiska wydłużenia wału w samym łożysku. Warunkiem niezbędnym do prawidłowego przemieszczania się w kierunku osiowym pierścienia wewnętrznego względem zewnętrznego jest zapewnienie odpowiedniej ilości miejsca po obydwu stronach łożyska (→ **rys. 30**).

Więcej informacji na ten temat można znaleźć w rozdziale „Łożyska toroidalne CARB”, **strona 779**.

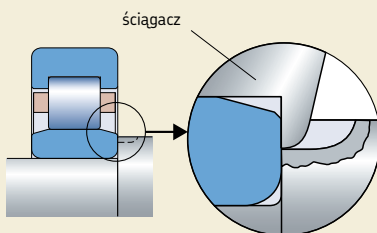


Projektowanie elementów towarzyszących

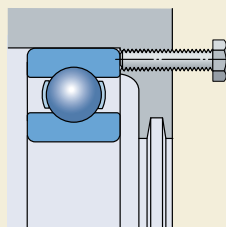
Szczególnie w przypadku łożysk wielkogabarytowych często trzeba już na etapie projektowania zastosować specjalne rozwiązania konstrukcyjne ułatwiające, a czasami wręcz umożliwiające, montaż i demontaż łożysk. Przykładowo, podcięcia w formie rowków w osadzeniach wału i/lub oprawy pozwalają zastosować ściągacze do demontażu łożysk (→ **rys. 31**). Otwory gwintowane w osadzeniach oprawy umożliwiają zastosowanie śrub ściągających do wypchnięcia łożyska z gniazda oprawy (→ **rys. 32**).

W przypadku zastosowania metody wtrysku olejowego do montażu i demontażu łożysk na czopie stożkowym lub do demontażu łożysk na czopie walcowym, należy przygotować odpowiednie kanały i rowki na wale (→ **rys. 33**). Odległość środka rowka rozprowadzającego olej od powierzchni czołowej łożyska od strony montażowej lub demontażowej powinna być równa jednej trzeciej szerokości powierzchni osadzenia. Zalecane wymiary odpowiednich rowków, kanałów i przyłączy do pomp hydraulicznych można znaleźć w **tablicach 14 i 15**.

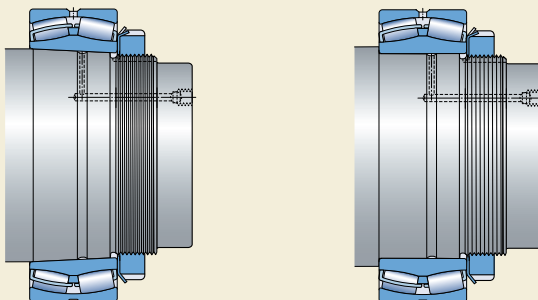
Rys. 31



Rys. 32

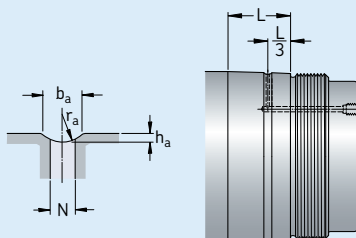


Rys. 33



Tablica 14

Zalecane wymiary kanałów i rowków doprowadzających olej

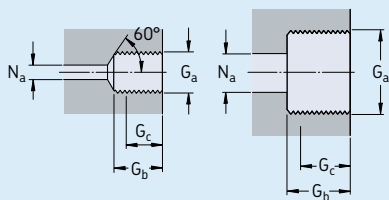


Średnica osadzenia ponad do		Wymiary b_a h_a		r_a	N
mm		mm			
-	100	3	0,5	2,5	2,5
100	150	4	0,8	3	3
150	200	4	0,8	3	3
200	250	5	1	4	4
250	300	5	1	4	4
300	400	6	1,25	4,5	5
400	500	7	1,5	5	5
500	650	8	1,5	6	6
650	800	10	2	7	7
800	1 000	12	2,5	8	8

L = szerokość powierzchni osadzenia łożyska

Tablica 15

Zalecenia konstrukcyjne odnośnie wykonania otworów gwintowanych do podłączenia dopływu oleju



Wykonanie A

Wykonanie B

Gwint G_a	Wykonanie	Wymiary G_b G_c ¹⁾ max		N_a
-	-	mm		
M 6	A	10	8	3
G 1/8	A	12	10	3
G 1/4	A	15	12	5
G 3/8	B	15	12	8
G 1/2	B	18	14	8
G 3/4	B	20	16	8

¹⁾ Efektywna długość gwintu

Napięcie wstępne łożysk

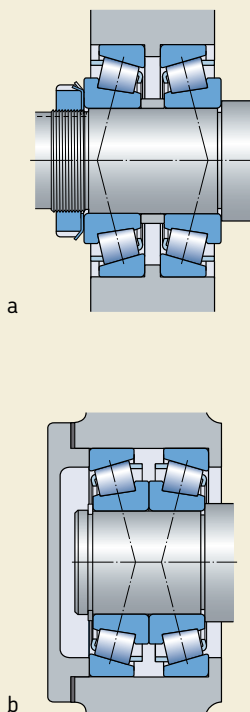
W zależności od przypadku zastosowania łożyskowanie musi mieć dodatni lub ujemny luz roboczy. W większości zastosowań luz roboczy powinien być dodatni, to znaczy podczas pracy powinien pozostać niewielki luz roboczy (→ rozdział „Luz wewnętrzny łożyska”, **strona 137**).

W niektórych jednak przypadkach, np. w łożyskowaniach wrzecion roboczych obrabiarek, zębnika przekładni głównej samochodów, małych silników elektrycznych lub łożyskowań o ruchach oscylacyjnych, wymagany jest ujemny luz roboczy, to znaczy powinno występować napięcie wstępne, aby zwiększyć sztywność łożyskowania lub dokładność obrotu. Napięcie wstępne, uzyskiwane np. za pomocą sprężyn, jest również przewidywane, gdy łożysko w określonych stanach roboczych pracuje bez obciążenia lub tylko pod nieznacznym obciążeniem, ale przy dużej prędkości obrotowej. W tym przypadku napięcie wstępne jest konieczne do zapewnienia minimalnego obciążenia łożyska, aby w ten sposób zapobiec uszkodzeniom łożyska w wyniku ruchów ślizgowych elementów tocznych (→ rozdział „Wymagane obciążenie minimalne”, **strona 75**).

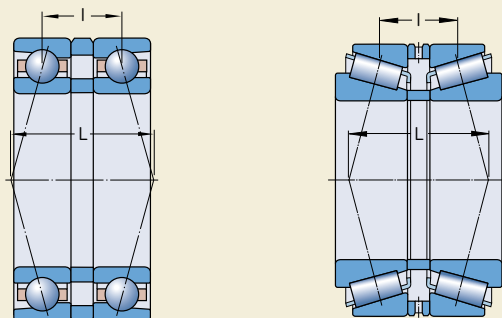
Rodzaje napięcia wstępnego

Zależnie od rodzaju łożyska, napięcie wstępne może być promieniowe lub osiowe. Przykładowo, łożyska walcowe, ze względu na swoją konstrukcję mogą być napięte wstępnie tylko promieniowo, a łożyska kulkowe wzdłużne i walcowe

Rys. 34



Rys. 35



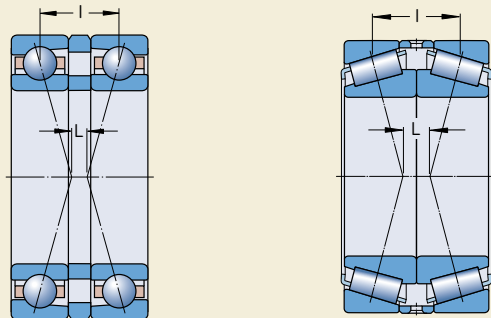
wzdłużne tylko osiowo. Jednorzędowe łożyska kulkowe skośne i łożyska stożkowe (→ **rys. 34**), które zawsze muszą pracować z drugim łożyskiem tego samego rodzaju w układzie O (**a**) lub X (**b**) są napięte wstępnie osiowo. Łożyska kulkowe zwykłe mogą być również napinane wstępnie osiowo, jeśli mają one przed montażem luz promieniowy większy niż normalny (np. C3). Jest to konieczne, aby uzyskać kąt działania większy od zera, tak jak w łożyskach kulkowych skośnych.

Odległość L między środkami nacisku sił dwóch łożysk kulkowych skośnych lub stożkowych jest w układzie O (→ **rys. 35**) większa, a w układzie X (→ **rys. 36**) mniejsza, niż odległość l między środkami łożysk. Oznacza to, że łożyska ustawione w układzie O przy stosunkowo małej odległości między środkami łożysk mogą przejmować duży moment wywrotny. Ponadto, siły promieniowe, wynikające z obciążenia momentem i wywołane przez to odkształcenie w łożyskach są mniejsze niż w układzie X.

Jeśli w czasie pracy wał nagrzewa się bardziej niż obudowa, wówczas wzrasta napięcie wstępne łożysk, które było nastawione podczas zabudowy w temperaturze otoczenia, przy czym zjawisko to jest silniejsze dla łożysk ustawionych w układzie X niż w układzie O. W obu przypadkach wydłużenia termiczne w kierunku promieniowym oddziałują w ten sposób, że zmniejsza się luz łożyska lub odpowiednio zwiększa się napięcie wstępne. Tendencja ta wskutek osiowego wydłużenia termicznego w układzie X jeszcze bardziej się powiększa, a w układzie O zmniejsza. Przy określonej odległości łożysk i przy tych samych współ-

czynnikach rozszerzalności cieplnej łożyska i elementów współpracujących, promieniowe i osiowe wydłużenia termiczne wyrównują się wzajemnie, jednak tylko w układzie O, zaś napięcie wstępne nie ulega zmianie.

Rys. 36



Efekty napięcia wstępnego

Głównymi efektami napięcia wstępnego łożysk są

- zwiększona sztywność
- zwiększona cichobieżność pracy
- dokładniejsze prowadzenie wału
- wyrównanie zużycia i procesów osiadania w czasie pracy
- zwiększona trwałość.

Zwiększona sztywność

Sztywność łożyska (zwykle określana w $\text{kN}/\mu\text{m}$) jest zdefiniowana jako stosunek siły działającej na łożysko do odkształcenia sprężystego łożyska. Odkształcenia sprężyste, spowodowane przez obciążenie, w łożyskach napiętych wstępnie są mniejsze dla danego zakresu obciążenia niż w łożyskach nie podlegających napięciu wstępnemu.

Cichobieżność pracy

Im mniejszy jest luz roboczy łożysk, tym lepiej są prowadzone elementy toczne w strefie nieobciążonej i tym ciszej pracuje łożysko.

Dokładne prowadzenie wału

Łożyskowanie wału w łożyskach poddanych napięciu wstępnemu zapewnia dokładniejsze prowadzenie, ponieważ wskutek napięcia wstępnego zmniejsza się tendencja do ugięcia osi wału pod obciążeniem. Przykładowo, w łożyskowaniach zębniaka przekładni głównej i obudowy mechanizmu różnicowego dokładniejsze prowadzenie i zwiększona sztywność zapewniają niezmiennie dokładny przypór zazębienia i ograniczają powstawanie dodatkowych sił dynamicznych. Dzięki temu przekładnia pracuje ciszej i zwiększa się trwałość eksploatacyjna kół zębatych.

Wyrównanie zużycia i procesów osiadania

Zużycie i procesy osiadania w łożyskowaniu podczas pracy powiększają luz. Napięcie wstępne pozwala skompensować skutki tych zjawisk.

Zwiększenie trwałości

W określonych przypadkach zastosowań łożyskowania z napięciem wstępnym poprawiają niezawodność pracy i zwiększają trwałość maszyn. Prawdopodobnie dobre napięcie wstępne ma korzystny wpływ na rozkład obciążenia w łożyskach, a przez to także na ich trwałość eksploatacyjną ($\rightarrow$ rozdział „Zachowanie właściwego napięcia wstępnego”, strona 216).

Wyznaczenie siły napięcia wstępnego

Napięcie wstępne może być określone za pomocą siły napięcia wstępnego lub za pomocą przemieszczenia koniecznego do uzyskania wymaganego napięcia, chociaż to siła napięcia wstępnego jest podstawową wielkością poszukiwaną. W jednej z metod regulacji napięcie wstępne jest również pośrednio odniesione do momentu tarcia w łożysku.

Na podstawie wypróbowanych konstrukcji można uzyskać doświadczalne wartości optymalnej siły napięcia wstępnego, które można później przenieść na inne porównywalne konstrukcje. Dla nowych konstrukcji SKF zaleca obliczenie siły napięcia wstępnego i sprawdzenie jej na drodze badań. Zazwyczaj nie można bowiem uwzględnić wszystkich czynników wpływających na rzeczywistą eksploatację i konieczne są korekty dokonywane na podstawie praktycznych badań. Dokładność obliczeń zależy przede wszystkim od tego, w jakim stopniu przyjęte założenia dotyczące zależności temperatury występujących w eksploatacji i charakterystyka sprężysta elementów współpracujących – głównie oprawy – odpowiadają rzeczywistości.

Przy wyznaczaniu napięcia wstępnego oblicza się najpierw siłę napięcia wstępnego potrzebną do tego, aby uzyskać optymalne połączenie sztywności, trwałości i niezawodności w warunkach obciążenia roboczego. Następnie oblicza się siłę napięcia wstępnego potrzebną do ustawienia łożysk przy ich zabudowie na zimno bez działania obciążeń roboczych.

Odpowiednia siła napięcia wstępnego w temperaturze roboczej zależy od obciążenia łożyska. Łożyska kulkowe skośne i łożyska stożkowe mogą jednocześnie przenosić obciążenia promieniowe i osiowe. Pod wpływem obciążenia promieniowego powstaje w łożysku siła działająca w kierunku osiowym, która zwykle musi być przejęta przez drugie łożysko, ustawione w kierunku przeciwnym do pierwszego łożyska. Ściśle promieniowe przemieszczenie jednego pierścienia łożyska względem drugiego oznacza, że obciążona jest połowa obwodu łożyska (to znaczy połowa elementów tocznych) i siła osiowa powstała w łożysku wynosi

$F_a = R F_r$ dla jednorzędowych łożysk kulkowych skośnych

$F_a = 0,5 F_r / Y$ dla jednorzędowych łożysk stożkowych

gdzie F_r oznacza obciążenie promieniowe łożyska ($\rightarrow$ rys. 37).

Wartość zmiennej R , która uwzględnia warunki styku występujące w łożyskach kulkowych skośnych musi być obliczona zgodnie z wytycznymi podanymi w rozdziale „Wyznaczanie siły osiowej dla łożysk zabudowanych pojedynczo lub parami w układzie tandem”, **strona 415**.

Wartości współczynnika obciążenia osiowego Y dla łożysk stożkowych można odczytać z tablic wyrobów.

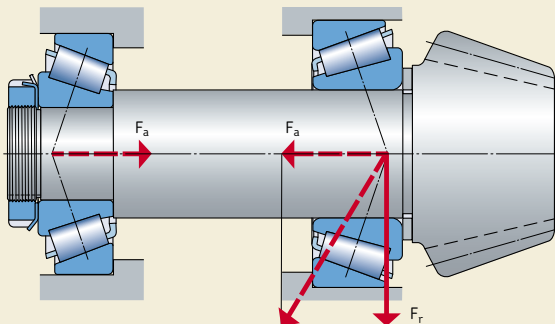
W przypadku pojedynczego łożyska obciążonego siłą promieniową F_r , musi zatem być przyłożona zewnętrzna siła osiowa F_a o podanej poprzednio wielkości, aby zgodnie z założeniami przyjętymi przy wyznaczaniu nośności dynamicznej, była obciążona połowa obwodu łożyska. Jeśli przyłożona siła zewnętrzna jest mniejsza, to zmniejsza się liczba elementów tocznych przenoszących obciążenie, a zatem zmniejsza się zdolność łożyska do przenoszenia obciążeń

W łożyskowaniu, które składa się z dwóch łożysk kulkowych skośnych lub łożysk stożkowych w układzie O albo X, oba łożyska przejmują wzajemnie powstałe siły osiowe. Jeśli oba łożyska są jednakowe, obciążenie promieniowe działa centralnie pomiędzy łożyskami i układ łożysk jest ustawiony (wyregulowany) na luz równy zero, to rozkład obciążeń, przy którym obciążona jest połowa obwodu łożysk ustali się wówczas samoczynnie. W innych przypadkach obciążenia, przede wszystkim przy występowaniu zewnętrznej siły osiowej, może być konieczne napięcie wstępne łożysk w celu skompensowania luzu wytworzonego w wyniku od-

kształcenia sprężystego łożyska przejmującego obciążenie osiowe i uzyskania korzystniejszego rozkładu obciążenia w łożysku odciążonym.

Napięcie wstępne zwiększa także sztywność łożyskowania. Przy rozważaniach dotyczących sztywności należy pamiętać, że zależy ona nie tylko od sprężystości łożysk, ale także od sprężystości wału i oprawy, pasowań pierścieni łożysk oraz odkształceń sprężystych innych elementów biorących udział w przenoszeniu obciążeń, łącznie z płaszczyznami przylegania. Wszystkie powyższe elementy mają wpływ na sztywność całego układu. Sprężystość osiowa i promieniowa łożyska zależą od jego konstrukcji wewnętrznej, to znaczy od warunków styku elementów tocznych z bieżniami (styk punktowy lub liniowy), liczby i średnicy elementów tocznych oraz od kąta działania. Im większy kąt działania, tym większa sztywność łożyska w kierunku osiowym.

Rys. 37



Przyjmując w pierwszym przybliżeniu liniową charakterystykę sprężystości, to znaczy stałą sztywność łożyskowania, można stwierdzić na drodze porównania, że przemieszczenie osiowe w łożyskowaniu z napięciem wstępnym – przy jednakowej zewnętrznej sile osiowej K_a – jest mniejsze niż w łożyskowaniu bez napięcia wstępnego ($\rightarrow$ **wykreś 2**). Przykładowo, łożyskowanie zębniaka składa się zwykle z dwóch łożysk stożkowych A i B o różnej wielkości i stałych sprężystości c_A i c_B obciążonych siłą napięcia wstępnego F_0 . Przyłożenie siły osiowej K_a działającej w kierunku łożyska A powoduje odciążenie łożyska B i tym samym wzrost obciążenia działającego na łożysko A i jego przemieszczenie osiowe δ_a będą mniejsze niż dla układu łożysk bez napięcia wstępnego. Jeżeli jednak zewnętrzna siła osiowa przekroczy wartość

$$K_a = F_0 \left(1 + \frac{c_A}{c_B} \right)$$

to łożysko B zostanie odciążone od siły osiowej napięcia wstępnego i przemieszczenie osiowe pod dodatkowym obciążeniem zależeć będzie tylko od sprężystości łożyska A, tak jak przy łożyskowaniu bez napięcia wstępnego. Aby uniknąć pełnego odciążenia łożyska B, gdy łożysko A jest obciążone siłą K_a , potrzebna jest następująca siła napięcia wstępnego

$$F_0 = K_a \frac{c_B}{c_A + c_B}$$

Siły i przemieszczenia sprężyste w łożyskowaniu poddanym napięciu wstępnemu, jak również wpływ zmiany siły napięcia wstępnego, dadzą się najprościej przedstawić na wykresie siły napięcia wstępnego w funkcji przemieszczenia wywołanego napięciem wstępnym ($\rightarrow$ **wykreś 3**). Wykres ten składa się z charakterystyk sprężystych elementów napiętych względem siebie. Na jego podstawie można określić zależność między

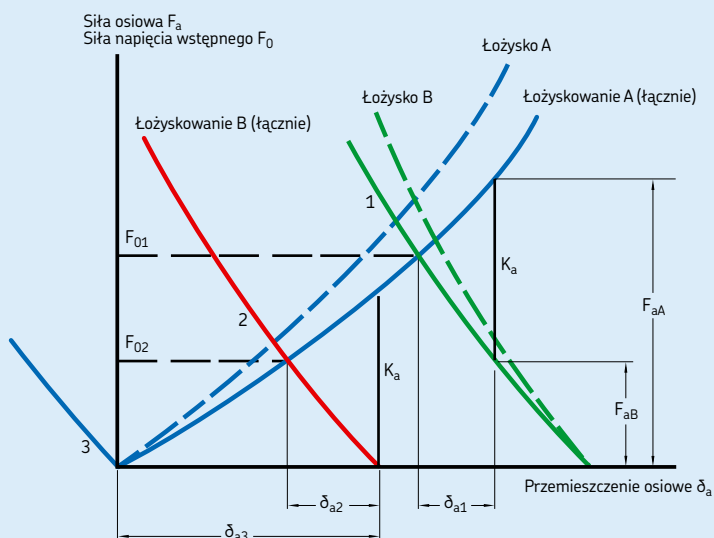
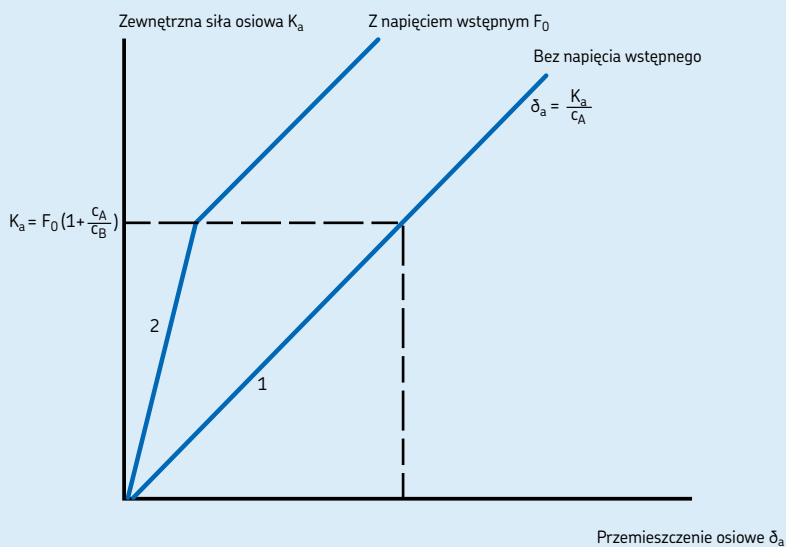
- zewnętrzną, działającą na napięcie wstępnie łożyskowanie siłą osiową K_a i obciążeniami łożysk, jak również przemieszczeniem (odkształceniem sprężystym), które jest wywołane przez siły zewnętrzne.

Na **wykreśie 3**, siły napięcia wstępnego w funkcji przemieszczenia, charakterystyki elementów składowych, poddanych dodatkowo obciążeniom roboczym, są przedstawione za pomocą krzywych rosnących od lewej do prawej, natomiast charakterystyki odciążonych elementów za pomocą krzywych rosnących od prawej do lewej. Krzywe charakterystyk 1, 2 i 3 odnoszą się do różnych sił napięcia wstępnego (F_{01} , $F_{02} < F_{01}$ i $F_{03} = 0$). Linie przerywane uwzględniają tylko sztywność samego łożyska, linie ciągłe – sztywność całego łożyskowania.

Korzystając z **wykreśu 3** można przykładowo wyjaśnić charakterystykę łożyskowania wału zębniaka ($\rightarrow$ **rys. 39, strona 213**), kiedy to łożysko A jest napięte poprzez wał i oprawę w stosunku do łożyska B. Zewnętrzna siła osiowa K_a (składowa osiowa siły międzyzębnej) nakłada się na siłę napięcia wstępnego F_{01} (krzywa 1) w ten sposób, że łożysko A jest dodatkowo obciążone, a łożysko B – odciążone. Obciążenie w miejscu łożyskowania A oznaczono przez F_{aA} , a w miejscu łożyskowania B – przez F_{aB} .

Pod wpływem siły K_a wał zębniaka przemieszcza się w kierunku osiowym o wielkość δ_{a1} . Mniejsza siła napięcia wstępnego F_{02} (krzywa 2) została tak dobrana, że łożysko B jest odciążone przez siłę osiową K_a , to znaczy $F_{aB} = 0$ i $F_{aA} = K_a$. Wał zębniaka przemieszcza się w tym przypadku o wielkość $\delta_{a2} > \delta_{a1}$. Przy nie-napiętym łożyskowaniu (krzywa 3) przemieszczenie osiowe wału zębniaka jest największe ($\delta_{a3} > \delta_{a2}$).

- siłą napięcia wstępnego i przemieszczeniem wywołanym napięciem wstępnym wewnątrz napiętego wstępnie łożyskowania



Sposoby nastawiania

Przez „nastawianie” rozumie się operację warztatową, podczas której ustala się luz łożyskowy (→ rozdział „Montaż”, **strona 261**) lub napina się wstępnie łożyskowanie.

Promieniowe napięcie wstępne stosowane zwykle w łożyskach walcowych, łożyskach kulkowych skośnych dwurzędowych, a czasami w łożyskach kulkowych zwykłych uzyskuje się np. przez zastosowanie odpowiednio ciasnego pasowania jednego lub obu pierścieni w celu zmniejszenia początkowego wewnętrznego luzu promieniowego do zera tak, że w czasie pracy uzyska się luz ujemny, czyli napięcie wstępne.

Łożyska z otworem stożkowym szczególnie dobrze nadają się do promieniowego napięcia wstępnego. Poprzez zakładanie ich na stożkowe powierzchnie osadzenia (czop wału, tuleja wciągana lub wciskana) można bardzo dokładnie ustalić napięcie wstępne.

Osiowe napięcie wstępne, stosowane w łożyskach kulkowych skośnych jednorzędowych, łożyskach stożkowych, jak również w łożyskach kulkowych zwykłych, uzyskuje się przez przemieszczenie jednego z pierścieni łożyska względem drugiego w kierunku osiowym o wielkość odpowiadającą wymaganej sile napięcia wstępnego. Zależnie od zasady rozróżnia się dwie główne grupy metod nastawiania: indywidualne i zespołowe (kolektywne).

Nastawianie indywidualne

Przy nastawianiu indywidualnym napięcie wstępne każdego łożyskowania jest ustalane oddzielnie za pomocą nakrętek, podkładek, tulei dysantansowych, tulei odkształcalnych itp. Procedury pomiarów i kontroli zapewniają, że wymagana nominalna wartość siły napięcia wstępnego jest uzyskana z możliwie małą odchyłką. Zależnie od mierzonej wielkości wykorzystywanej przy ustawianiu i ilości łożysk do zamontowania stosowane są następujące metody

- nastawianie poprzez przemieszczenie
- nastawianie za pomocą momentu tarcia
- nastawianie z bezpośrednim pomiarem siły.

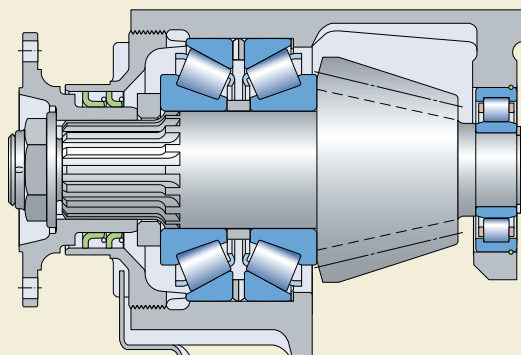
Nastawianie indywidualne ma tę zaletę, że poszczególne elementy mogą być wykonywane z normalnymi tolerancjami, a wymaganą siłę napięcia wstępnego można uzyskać ze stosunkowo dużą dokładnością.

Nastawianie poprzez przemieszczenie

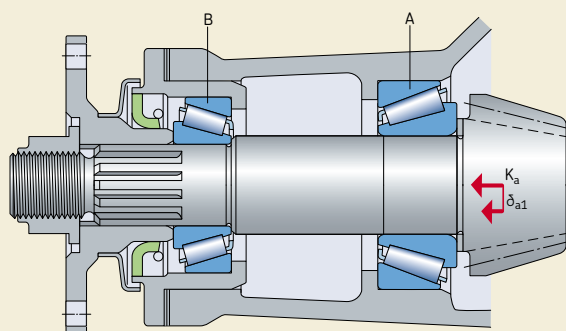
Ten sposób nastawiania jest często stosowany wówczas, gdy części łożyskowania mogą być wstępnie zmontowane fabrycznie. Przykładowo, przy łożyskowaniu zębnika siłę napięcia wstępnego uzyskuje się przez

- wstawienie dopasowanych pierścieni pośrednich między pierścienie zewnętrzne i wewnętrzne obu łożysk (→ **rys. 38**)
- wstawienie podkładek pasowanych między odsadzeniem w oprawie a pierścieniem zewnętrznym łożyska lub między korpusem a oprawą, która może mieć kształt tulei z kołnierzem (→ **rys. 39**)
- założenie pierścienia odległościowego pomiędzy odsadzeniem wału a jednym z pierścieni wewnętrznych (→ **rys. 40**) lub pomiędzy pierścienie wewnętrzne obu łożysk.

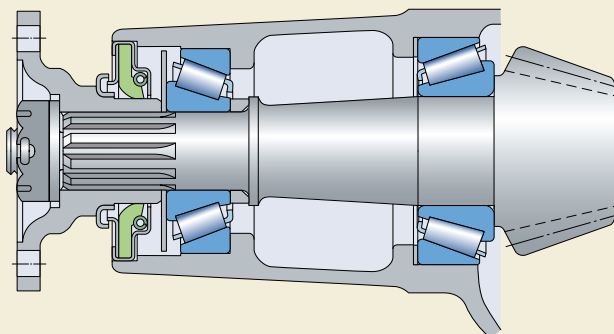
Rys. 38



Rys. 39



Rys. 40



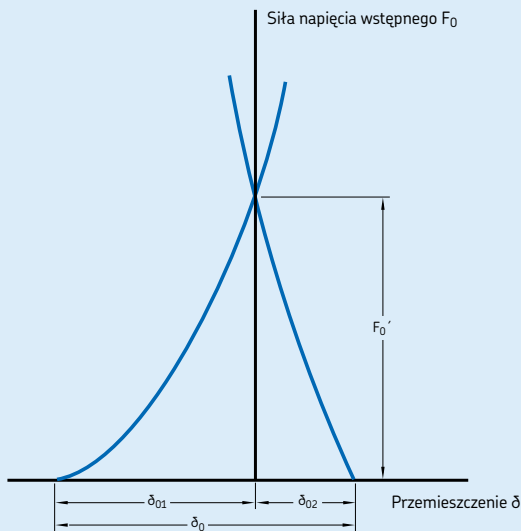
Konstrukcja łożyskowań

Grubość podkładek pasowanych, szerokość pierścieni pośrednich i pierścieni odległościowych zależy od

- odległości odsadzeń wału i obudowy
- całkowitej szerokości obu łożysk
- przemieszczenia osiowego (odkształcenia) odpowiadającego wymaganej sile napięcia wstępnego
- współczynnika korekcyjnego dla przemieszczenia, uwzględniającego wydłużenia termiczne w czasie pracy
- tolerancji wykonania wszystkich elementów, ustalonych na podstawie pomiaru ich wymiarów przed zabudową
- współczynnika korekcyjnego dla uwzględnienia spadku siły napięcia wstępnego po określonym czasie pracy.

Powyższa metoda nastawiania jest oparta na zależności pomiędzy siłą napięcia wstępnego a odkształceniami sprężystymi wewnątrz napiętego wstępnie układu. Wymaganą wielkość przemieszczenia można odczytać z wykresu siły napięcia wstępnego w funkcji przemieszczenia (→ wykres 4).

Wykres 4



F_0' siła napięcia wstępnego na wale zębniaka (łożyskowanie)

δ_{01} przemieszczenie konieczne do uzyskania napięcia wstępnego dla łożyska od strony zębniaka i przynależnych elementów

δ_{02} przemieszczenie konieczne do uzyskania napięcia wstępnego dla łożyska od strony kołnierza i przynależnych elementów

δ_0 całkowite przemieszczenie konieczne do uzyskania napięcia wstępnego dla łożyskowania zębniaka

Nastawianie za pomocą momentu tarcia

Ten sposób nastawiania, ze względu na mały nakład pracy i możliwość daleko idącej automatyzacji, jest stosowany przede wszystkim w produkcji seryjnej. Ponieważ między obciążeniem łożyska siłą napięcia wstępnego a momentem tarcia w łożysku istnieje jednoznaczna zależność, proces nastawiania przy bieżącej kontroli momentu tarcia może być przerwany (zakończony), gdy tylko moment ten uzyska wartość odpowiadającą wymaganej sile napięcia wstępnego. Należy jednak pamiętać, że moment tarcia różnych egzemplarzy łożysk tej samej wielkości może się różnić, a ponadto zależy on od zastosowanego środka konserwującego oraz od warunków smarowania i prędkości.

Nastawianie z bezpośrednim pomiarem siły

Ponieważ celem nastawiania łożysk jest wytworzenie w łożysku określonej siły napięcia wstępnego, naturalne wydaje się zastosowanie takiej metody nastawiania, przy której siła napięcia wstępnego może być w bezpośredni sposób wytworzona lub zmierzona. W praktyce preferowane są jednak sposoby pośrednie, jak nastawianie poprzez przemieszczenie lub za pomocą momentu tarcia, ponieważ są one prostsze i tańsze.

Nastawianie zespołowe (kolektywne)

Przy tym sposobie nastawiania, określanym w angielskiej literaturze technicznej jako „random statistical adjustment”, łożyska, wał i oprawa, pierścienie i tuleje odległościowe itp. są elementami w pełni wymiennymi, produkowanymi seryjnie i mogą być montowane losowo. W przypadku łożysk stożkowych wymiennność ta dotyczy także pierścieni zewnętrznych i pierścieni wewnętrznych z koszykiem z waleczkami. Chcąc uniknąć nieekonomicznej produkcji bardzo dokładnych łożysk i współpracujących z nimi elementów przyjęto założenie, że graniczne wartości tolerancji statystycznie biorąc rzadko spotykają się ze sobą. Jeśli jednak siła napięcia wstępnego ma być zachowana z możliwie małym rozrzutem, to tolerancje wykonawcze muszą być zacieśnione. Zaletą metody nastawiania zespołowego polega na tym, że nie są wymagane żadne kontrole i żadne specjalistyczne urządzenia potrzebne do zabudowy łożysk.

Napięcie wstępne za pomocą sprężyn

Zastosowanie napięcia wstępnego łożysk w małych silnikach elektrycznych i innych podobnych przypadkach pozwala zwiększyć cichobieżność pracy. W takiej sytuacji łożyskowanie składa się z łożyska kulkowego na każdym końcu wału. Najprostszy sposób napięcia wstępnego łożysk polega na zastosowaniu sprężyny lub pakietu sprężyn (→ rys. 41). Sprężyna działa na pierścien zewnętrzny jednego z dwóch łożysk, przy czym pierścień ten musi mieć możliwość przesunięcia osiowego. Przy takim rozwiązaniu siła napięcia wstępnego pozostaje praktycznie stała nawet przy przemieszczeniach osiowych łożysk wynikających z rozszerzalności cieplnej wału wirnika. Wymaganą siłę napięcia wstępnego można oszacować za pomocą wzoru

$$F = k d$$

gdzie

F = siła napięcia wstępnego, kN

k = współczynnik (patrz objaśnienia w dalszej części)

d = średnica otworu łożyska, mm

W zależności od konstrukcji silnika elektrycznego, wartość współczynnika k zwykle zawiera się w przedziale od 0,005 do 0,01. Jeżeli jednak

głównym zadaniem napięcia wstępnego jest ochrona łożyska przed zniszczeniem w wyniku drgań w stanie bezruchu, wymagane jest większe napięcie wstępne i należy przyjąć $k = 0,02$.

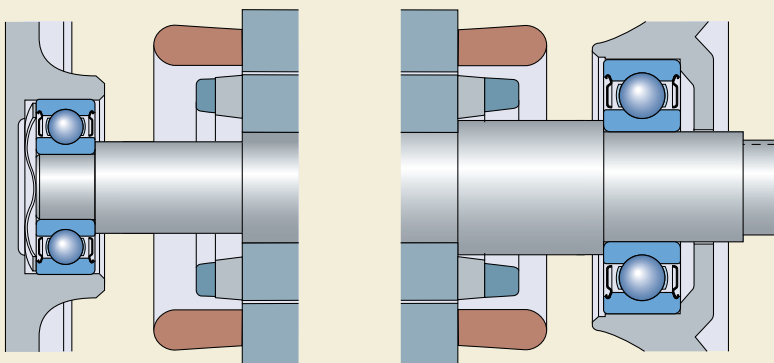
Napięcie wstępne za pomocą sprężyn jest również stosowane w szybkoobrotowych wrzecionach ściernic łożyskowanych za pomocą łożysk kulkowych skośnych. Ten sposób realizacji napięcia wstępnego nie ma jednak zastosowania do łożyskowań, od których wymaga się wysokiej sztywności, gdy zmienia się kierunek obciążenia lub występują bliżej nieokreślone obciążenia uderowe.

Zachowanie właściwego napięcia wstępnego

Przy doborze wielkości siły napięcia wstępnego dla danego łożyskowania należy pamiętać, że po przekroczeniu optymalnej wartości napięcia wstępnego sztywność zwiększa się tylko nieznacznie. Wzrasta natomiast tarcie i w konsekwencji ilość wytwarzanego ciepła. Ponadto, silnie zmniejsza się trwałość łożyska w wyniku stale działającego obciążenia dodatkowego.

Wykres 5 przedstawia zależność między trwałością łożyska a jego napięciem wstępnym lub luzem. Ze względu na fakt, że zbyt duże napięcie wstępne wpływa niekorzystnie na niezawodność

Rys. 41



pracy oraz przez to, że wyznaczenie właściwej siły napięcia wstępnego wymaga skomplikowanych obliczeń, zaleca się skorzystanie z pomocy Działu Doradztwa Technicznego SKF.

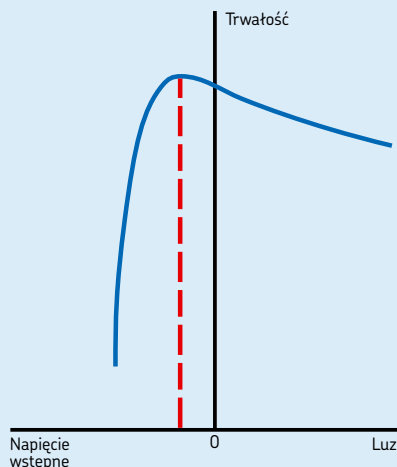
Przy nastawianiu łożyskowania z napięciem wstępnym należy zadbać, żeby obliczona lub dobrana na podstawie doświadczenia wartość siły napięcia wstępnego została uzyskana z możliwie małym rozrzutem. Oznacza to przykładowo dla łożyskowań z łożyskami stożkowymi, że podczas nastawiania powinny one być kilka razy obrócone w obu kierunkach, aby wałeczki nie ustawiły się skośnie i ich końce prawidłowo przylegały do obrzeża prowadzącego pierścienia wewnętrznego. W przeciwnym wypadku wynik zostanie zafałszowany i rzeczywiste napięcie wstępne będzie znacznie mniejsze niż wymagane.

Łożyska i zespoły łożysk do napiętych wstępnie łożyskowań

Do pewnych zastosowań SKF dostarcza pojedyncze łożyska lub zespoły dopasowanych łożysk w różnych wykonaniach specjalnych, które mogą być nastawiane prościej i bardziej niezawodnie lub już na etapie produkcji są tak wzajemnie dopasowane, że po zabudowie uzyskuje się od razu wymaganą wartość napięcia wstępnego. Do tych łożysk i zespołów łożysk zalicza się

- łożyska stożkowe w wykonaniu CL7C do łożyskowań zębniaka przekładni głównej i mechanizmu różnicowego. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w rozdziale „Łożyska stożkowe jednorzędowe”, **strona 605**
- łożyska kulkowe skośne jednorzędowe do uniwersalnej zabudowy (→ rozdział „Łożyska kulkowe skośne jednorzędowe”, **strona 409**),
- łożyska stożkowe jednorzędowe dopasowane parami, np. do przekładni stacjonarnych (→ rozdział „Parowane łożyska stożkowe jednorzędowe”, **strona 671**)
- łożyska kulkowe zwykłe dopasowane parami (→ rozdział „Łożyska kulkowe zwykłe”, **strona 289**).

Wykres 5



Konstrukcja uszczelnienia

Każde łożyskowanie składa się nie tylko z łożysk, ale także z elementów współpracujących. Poza wałami i oprawami tych zaliczamy uszczelnienia, których działanie ma istotne znaczenie dla utrzymania czystości środka smarowego i trwałości eksploatacyjnej całego łożyskowania. Z punktu widzenia konstruktora oznacza to, że łożyskowanie i uszczelnienie należy rozpatrywać jako elementy pewnego całego systemu.

Zasadniczo wyróżniamy dwa rodzaje uszczelnień łożyskowań tocznych: uszczelnienia stanowiące integralną całość z łożyskiem i uszczelnienia umieszczone poza łożyskiem. Łożyska z uszczelnieniami zintegrowanymi są zazwyczaj stosowane w łożyskowaniach, w których nie można zastosować dodatkowego uszczelnienia zewnętrznego ze względu na brak miejsca lub ze względów ekonomicznych.

Rodzaje uszczelnień

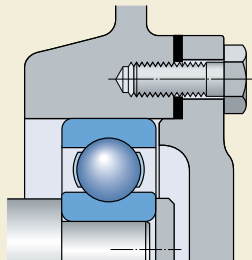
Głównym zadaniem uszczelnienia jest ochrona przed przenikaniem różnego rodzaju zanieczyszczeń do uszczelnionej przestrzeni. Uszczelnienia zewnętrzne muszą nie dopuszczać do przedostawania się różnych czynników pomiędzy powierzchnią nieruchomą a ruchomą, np. między oprawą a wałem. Zadaniem uszczelnień zintegrowanych z łożyskiem jest natomiast ochrona przed zanieczyszczeniami i utrzymanie smaru wewnątrz łożyska.

Skuteczne uszczelnienie musi być z jednej strony wystarczająco elastyczne, aby skompensować wady wykończenia powierzchni, a z drugiej strony na tyle mocne, żeby wytrzymać występujące ciśnienia robocze. Materiały, z których wykonywane są uszczelnienia powinny także charakteryzować się szerokim zakresem temperatury roboczej i odpowiednią odpornością chemiczną.

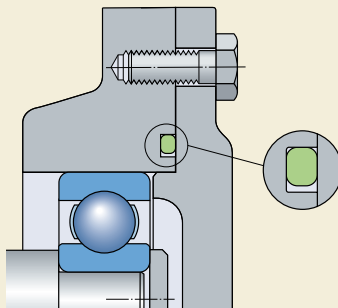
Istnieje kilka rodzajów uszczelnień. Przykładowo, norma DIN 3750 wyróżnia następujące podstawowe rodzaje uszczelnień

- uszczelnienia stykające się z powierzchniami nieruchomymi
- uszczelnienia stykające się z powierzchniami ruchomymi
- uszczelnienia bezstykowe
- mieszki i membrany.

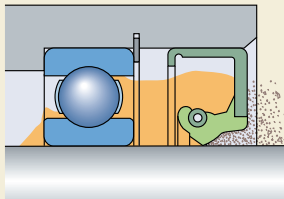
Rys. 42



Rys. 43



Rys. 44



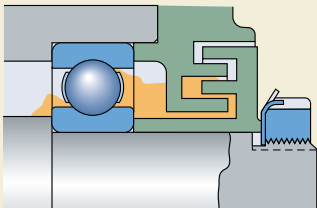
Uszczelnienia stykające się z powierzchniami nieruchomymi są nazywane statycznymi. Ich skuteczność zależy od odkształcenia przekroju uszczelnienia w kierunku osiowym lub promieniowym podczas montażu. Przykładami uszczelnień statycznych są uszczelki płaskie (→ **rys. 42**) i pierścienie o przekroju okrągłym, czyli „O-ringi” (→ **rys. 43**).

Uszczelnienia stykające się z powierzchniami ruchomymi to uszczelnienia dynamiczne. Ich zadaniem jest uszczelnienie przestrzeni pomiędzy obracającymi lub przesuwającymi się elementami maszyny. Uszczelnienia dynamiczne muszą utrzymywać smar, chronić przed przedostawaniem się zanieczyszczeń z zewnątrz, oddzielać różne płyny i wytrzymać różnicę ciśnień podczas pracy. Istnieje wiele różnych rodzajów uszczelnień dynamicznych, np. szczeliwa, pierścienie uszczelniające tłoki, które są stosowane w przypadku ruchu liniowego lub oscylacji. Najpopularniejsze są jednak uszczelnienia promieniowe wałów (→ **rys. 44**), które znalazły zastosowanie w wielu rozwiązaniach konstrukcyjnych we wszystkich gałęziach przemysłu.

Uszczelnienia bezstykowe funkcjonują dzięki efektowi uszczelniającemu występującemu w długich, wąskich szczelinach, które mogą być ustawione osiowo, promieniowo lub skośnie. Uszczelnienia bezstykowe, od prostych uszczelnień szczelinowych aż po wielostopniowe labirynty (→ **rys. 45**) praktycznie nie wykazują oporów tarcia i nie zużywają się.

Mieszki i membrany są stosowane do uszczelnienia elementów, które tylko nieznacznie przesuwają się względem siebie.

Rys. 45



Ze względu na znaczenie promieniowych uszczelnień dynamicznych dla skutecznego uszczelnienia łożyskowań, informacje podane w dalszej części niniejszego rozdziału dotyczą praktycznie tylko tego rodzaju uszczelnień, ich odmian konstrukcyjnych i wariantów wykonania.

Dobór rodzaju uszczelnienia

Uszczelnienia łożyskowań powinny charakteryzować się jak najmniejszymi oporami tarcia i zużyciem oraz wysoką skutecznością nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach pracy. Należy pamiętać, że jakość pracy łożyska i jego trwałość eksploatacyjna zależą w dużym stopniu od czystości łożyskowania, a zatem od skuteczności uszczelnienia. Więcej informacji na temat wpływu zanieczyszczeń na pracę łożyska można znaleźć w rozdziale „Dobór wielkości łożyska”, **strona 49**.

Przy doborze najbardziej odpowiedniego rodzaju uszczelnienia dla danego łożyskowania należy rozważyć różne czynniki

- rodzaj środka smarowego: olej czy smar plastyczny
- prędkość obwodowa względem powierzchni uszczelnienia
- ustawienie wału: poziome lub pionowe
- możliwy błąd niewspółosiowości wału
- dostępna przestrzeń
- opory tarcia uszczelnienia i związany z nimi wzrost temperatury
- wpływ na środowisko
- racjonalny koszt uszczelnienia.

Dobór odpowiedniego uszczelnienia ma kluczowe znaczenie dla prawidłowej pracy łożyska. Istotne jest więc dokładne sprecyzowanie wymagań stawianych uszczelnieniu oraz określenie warunków pracy uszczelnienia.

W przypadku gdy znane są szczegóły danego zastosowania, można skorzystać z informacji podanych w następujących publikacjach SKF

- katalog „Uszczelnienia przemysłowe”
- poradnik „Wytyczne projektowania uszczelnień”
- „Katalog Interaktywny SKF” dostępny na stronie internetowej www.skf.com.

Jeżeli projektantowi brakuje doświadczenia w doborze uszczelnień do danego typu zastosowań, można skorzystać z pomocy firmy SKF, jednego z największych producentów uszczelnień na świecie.

Do uszczelnienia łożyskowań stosuje się zwykle dwa rodzaje uszczelnień, które różnią się co do sposobu działania: bezstykowe i stykowe.

Uszczelnienia bezstykowe

Sposób działania uszczelnień bezstykowych polega w zasadzie na działaniu uszczelniającym wąskiej szczeliny między obracającymi się i nieruchomymi częściami urządzenia. Szczeliny te mogą być usytuowane promieniowo, osiowo lub jednocześnie promieniowo i osiowo (→ **rys. 46**). Uszczelnienia bezstykowe mogą mieć kształt prostej szczeliny lub być bardziej złożone, jak w przypadku uszczelnienia labiryntowego. Uszczelnienia tego typu nie wykazują praktycznie żadnego tarcia i żadnego zużycia, a ponadto są zwykle niewrażliwe na uszkodzenia spowodowane zanieczyszczeniami stałymi. Uszczelnienia bezstykowe są przydatne przede wszystkim przy dużych prędkościach obrotowych i wysokich temperaturach. Ich skuteczność można poprawić włączając smar plastyczny do przesłuzi labiryntowej.

Uszczelnienia stykowe

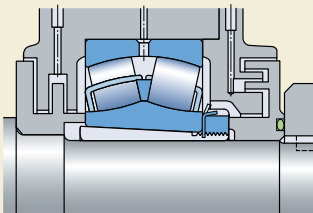
Skuteczność uszczelnienia stykowego zależy od zdolności uszczelnienia do wywierania określonego minimalnego nacisku na współpracujący element za pośrednictwem stosunkowo wąskiej wargi lub powierzchni uszczelniającej. Odpo-

wiednia siła nacisku może być wytworzona dzięki (→ **rys. 47**)

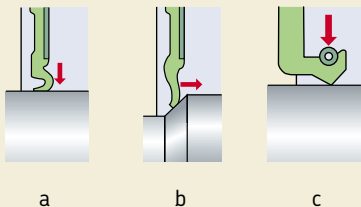
- ugięciu uszczelnienia, wynikającego z właściwości sprężystych materiału uszczelniającego (**a**)
- zastosowaniu wciśnięcia między uszczelnieniem a współpracującą powierzchnią (**b**) lub
- działaniu siły rozciągającej pierścieniową sprężynę śrubową osadzoną w elemencie uszczelniającym (**c**).

Uszczelnienia stykowe są zwykle bardzo niezawodne, zwłaszcza gdy przy odpowiedniej jakości powierzchni elementu współpracującego i smarowaniu miejsca styku wargi uszczelniającej zużycie jest nieznaczne. Tarcie uszczelnienia o powierzchnię współpracującą i związany z nim wzrost temperatury negatywnie wpływają na pracę uszczelnienia stykowego. Tego typu uszczelnienia mogą więc być stosowane tylko do określonych prędkości obrotowych, zależnych od typu uszczelnienia i chropowatości współpracującej powierzchni. Uszczelnienia te są ponadto wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne, np. powstałe podczas nieprawidłowego montażu czy wywołane zanieczyszczeniami stałymi. Z tego względu przed uszczelnieniem stykowym często stosowane jest dodatkowe uszczelnienie bezstykowe, chroniące przed dostępem zanieczyszczeń stałych.

Rys. 46



Rys. 47



Uszczelnienia w łożysku

SKF dostarcza różnego rodzaju łożyska z blaszkami ochronnymi albo uszczelnieniami stykowymi z jednej lub obu stron łożyska. Oferują one tanie i zwarte rozwiązanie wielu problemów związanych z uszczelnieniami. Łożyska obustronnie uszczelnione są fabrycznie wypełniane smarem i z reguły nie wymagają dozoru. Rozwiązania konstrukcyjne stosowanych uszczelnień zostały opisane w tekście poprzedzającym poszczególne rozdziały części tabelarycznej katalogu.

Łożyska z blaszkami ochronnymi

Łożyska z blaszkami ochronnymi (→ rys. 48), znajdują zastosowanie w łożyskowaniach, w których groźba zanieczyszczenia jest niewielka i gdzie nie trzeba się liczyć z dostępem wody, pary itp. lub gdy brak tarcia tych bezstykowych uszczelnień ma decydujące znaczenie ze względu na prędkość obrotową lub temperaturę pracy łożyska.

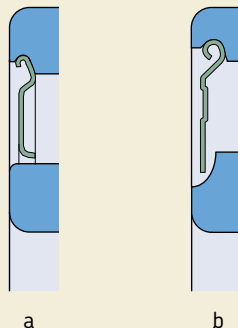
Blaszki ochronne są wykonywane z blachy stalowej i mogą tworzyć

- długą szczelinę z powierzchnią obrzeża pierścienia wewnętrznego (a) lub
- skuteczne uszczelnienie labiryntowe z odpowiednim wyprofilowaniem obrzeża pierścienia wewnętrznego (b).

Łożyska z uszczelnieniami stykowymi

Łożyska z uszczelnieniami stykowymi, często nazywanymi po prostu uszczelnieniami, są preferowane, gdy należy liczyć się z umiarkowany-

Rys. 48

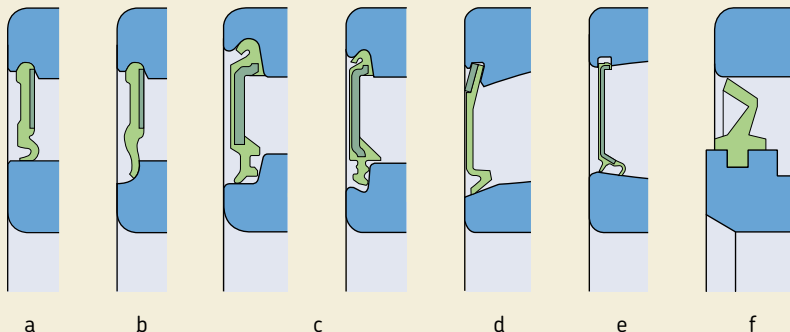


mi zanieczyszczeniami i może wystąpić wnikanie wilgoci, rozbryzgiwanej wody itp. albo wymagana jest duża trwałość bez konieczności obsługi.

Firma SKF opracowała różne warianty uszczelnień (→ rys. 49). Zależnie od rodzaju i/lub wielkości łożyska, wargi uszczelniające stosowanych uszczelnień mogą stykać się z

- płaską (a) lub odpowiednio wyprofilowaną powierzchnią pierścienia (b, c)
- sfazowaną powierzchnią bieżni pierścienia wewnętrznego (d, e) lub zewnętrznego (f).

Rys. 49



Konstrukcja łożyskowań

W przypadku łożysk kulkowych zwykłych, SKF stosuje jeszcze dwa inne rodzaje uszczelnień (→ **rys. 50**), określane jako

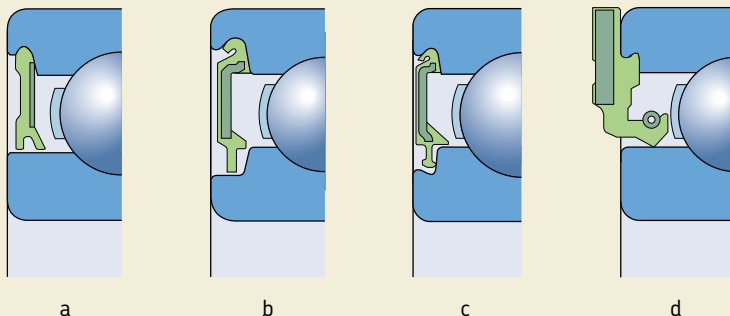
- uszczelnienia o zmniejszonych oporach tarcia (**a, b, c**), które są praktycznie bezstykowe i łączą dobre właściwości uszczelniające z niewielkimi oporami tarcia łożyska
- uszczelnienia promieniowe wałów typu Wavesal ze sprężyną dociskową (**d**), zamontowaną z jednej strony łożyska i tworzącą razem z nim uszczelniony zespół łożyskowy ICOS.

Uszczelnienia wbudowane w łożyska są zwykle wykonywane z elastomeru wzmocnionego blachką stalową. Zależnie od serii i wielkości łożyska oraz wymagań danego łożyskowania uszczelnienia wytwarzane są zazwyczaj z

- kauczuku butadienowo-akrylonitrylowego (NBR)
- uwodornionego kauczuku butadienowo-akrylonitrylowego (HNBR)
- kauczuku fluorowego (FKM)
- poliuretanu (AU).

Wybór odpowiedniego materiału uszczelnienia jest uwarunkowany spodziewaną temperaturą roboczą i rodzajem środka smarowego. Informacje nt. dopuszczalnych temperatur roboczych zostały podane w rozdziale „Materiały na uszczelnienia”, **strona 142**.

Rys. 50



Uszczelnienia poza łożyskiem

W przypadku łożyskowań, dla których skuteczność uszczelnienia jest ważniejsza niż zajmowana przez nie przestrzeń lub koszt, istnieje kilka rodzajów uszczelnień do wyboru.

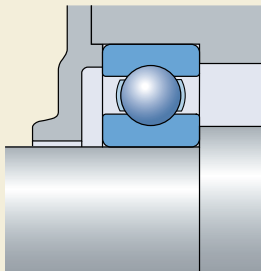
Niniejszy rozdział został poświęcony głównie uszczelnieniom oferowanym przez SKF. Na rynku dostępne są też inne uszczelnienia zewnętrzne. Z tego względu informacje podane w tym rozdziale na temat uszczelnień, które nie należą do programu produkcyjnego SKF mają wyłącznie charakter informacyjny i SKF nie odpowiada za prawidłowe działanie tych produktów. Przed zastosowaniem konkretnego uszczelnienia w konstrukcji zalecamy skonsultować się z jego producentem.

Uszczelnienia bezstykowe

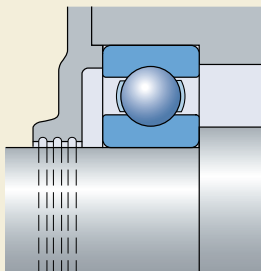
Spośród uszczelnień usytuowanych poza łożyskiem najprostsze jest uszczelnienie szczelinowe, które polega na stworzeniu wąskiej, gładkiej szczeliny między wałem a oprawą (→ rys. 51). Taki typ uszczelnienia jest wystarczający dla maszyn smarowanych smarem plastycznym, pracujących w suchym i bezpyłowym środowisku. Działanie uszczelniające szczeliny może być poprawione przez wytoczenie jednego lub kilku współśrodkowych rowków w otworze pokrywy (→ rys. 52). Smar przedostając się na zewnątrz przez szczeliny wypełnia rowki i w ten sposób dodatkowo chroni przed wnikaniem zanieczyszczeń.

Przy smarowaniu olejowym i przy wałach poziomych można wykonać na wale lub w oprawie spiralne rowki prawoskrętne lub lewoskrętne, w zależności od kierunku obrotu wału (→ rys. 53). Służą one do zatrzymania wyciekającego oleju w oprawie. Przy takim rozwiązaniu kierunek obrotu wału nie może jednak być zmienny.

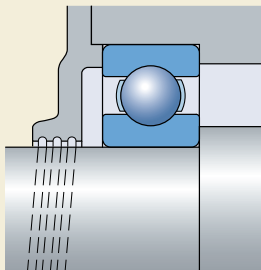
Rys. 51



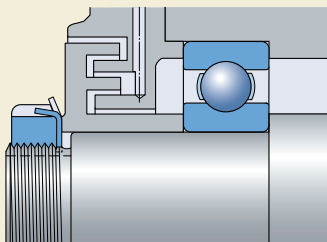
Rys. 52



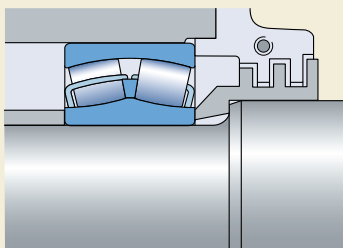
Rys. 53



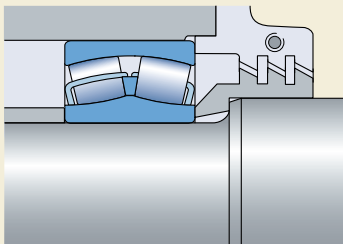
Rys. 54



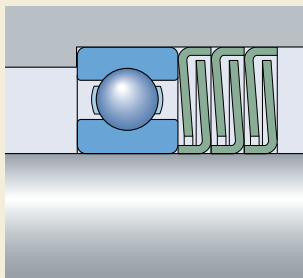
Rys. 55



Rys. 56



Rys. 57



Pojedyncze lub złożone uszczelnienia labiryntowe są o wiele bardziej skuteczne od uszczelnienia szczelinowego, ale są droższe w produkcji. Uszczelnienia labiryntowe są stosowane przede wszystkim przy smarowaniu smarem plastycznym. Ich skuteczność można jeszcze poprawić przez wykonanie w nich kanału smarowego i okresowe doprowadzanie pod ciśnieniem pewnej ilości nierozpuszczalnego w wodzie smaru plastycznego, np. smaru z zagęszczaczem litowo-wapniowym. Występy labiryntowe mogą być ustawione osiowo (→ rys. 54) lub promieniowo (→ rys. 55), zależnie od konstrukcji oprawy, dzielonej lub niedzielonej, sposobu montażu, ilości wolnej przestrzeni itp. Przy występach labiryntowych skierowanych osiowo szerokość szczeliny nie zmienia się przy przemieszczeniu osiowym wału i dlatego może być bardzo wąska. Jeżeli istnieje możliwość występowania niewspółosiowości wału względem oprawy, szczeliny labiryntu powinny być ustawione ukośnie (→ rys. 56).

Skuteczne i tanie uszczelnienia labiryntowe można wykonać na bazie ogólnie dostępnych produktów, np. blaszanych podkładek uszczelniających SKF (→ rys. 57). Skuteczność tego uszczelnienia wzrasta z liczbą zastosowanych podkładek, a dodatkowo można ją poprawić stosując podkładki zamazowane. Więcej informacji nt. podkładek uszczelniających można znaleźć w części „Uszczelnienia” w „Katalogu Interaktywnym SKF” dostępnym na stronie internetowej www.skf.com.

Dla poprawienia skuteczności uszczelnień bezstykowych w wielu przypadkach stosuje się

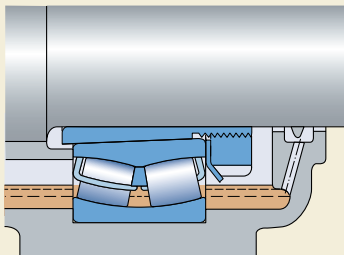
tarcze ochronne (→ rys. 58), a w przypadku smarowania olejowego – pierścienie odrzutnikowe, rowki lub tarcze odrzutnikowe. Odrzućany olej zbiera się w rowku pierścieniowym w oprawie i wraca do zbiornika odpowiednimi kanałami (→ rys. 59).

Uszczelnienia stykowe

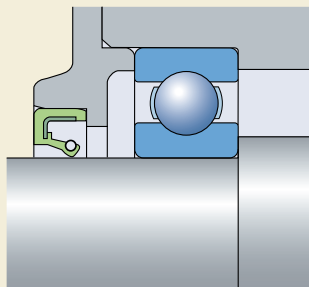
Do uszczelnień stykowych należą promieniowe pierścienie uszczelniające wału, które są stosowane głównie do uszczelnienia łożyskowań smarowanych olejem. Pierścienie te są gotowymi do zabudowy uszczelnieniami elastomero- wymi z metalową wkładką usztywniającą lub w zewnętrznej obudowie metalowej. Warga uszczelnienia wykonana jest zwykle z kauczuku syntetycznego, a docisk do powierzchni uszczelnianej zapewnia sprężyna pierścieniowa. Zależnie od materiału i środowiska pracy pierścienie uszczelniające mogą być stosowane w zakresie temperatur od -60 do $+190$ °C.

Wykończenie powierzchni wału w miejscu styku z wargą uszczelnienia ma bardzo istotny wpływ na skuteczność uszczelnienia. Twardość powierzchni współpracującej powinna wynosić co najmniej 55 HRC, a głębokość warstwy utwardzonej co najmniej 0,3 mm. Chropowatość powierzchni R_a , określona wg ISO 4288:1996, powinna zawierać się w przedziale od 0,2 do 0,8 μm . W przypadku niskiej prędkości obrotowej, dobrego smarowania i niewielkiego stopnia zanieczyszczeń dopuszczalna jest mniejsza twardość powierzchni wału. Aby uniknąć niepożądanego działania pompującego wytwarzanego przez śrubowe rysy szlifierskie, zalecane

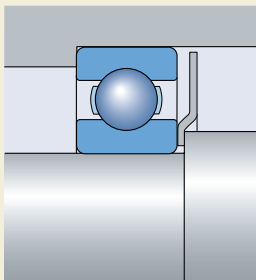
Rys. 59



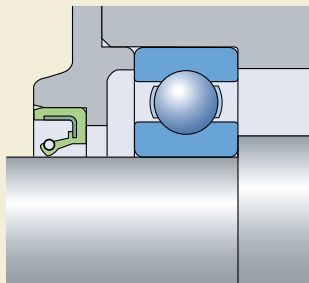
Rys. 60



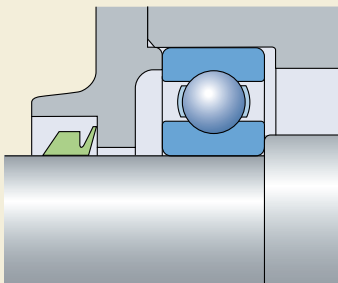
Rys. 58



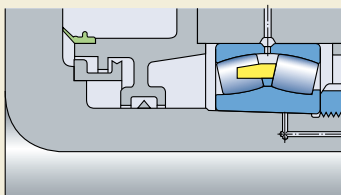
Rys. 61



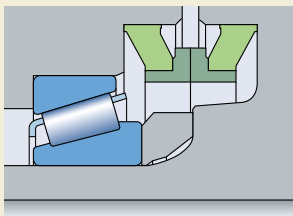
Rys. 62



Rys. 63



Rys. 64



jest szlifowanie poprzeczne. Jeżeli głównym zadaniem promieniowego pierścienia uszczelniającego jest utrzymanie środka smarowego w oprawie, to wargę uszczelniającą powinna być skierowana do wewnątrz (→ rys. 60). Jeżeli natomiast głównym zadaniem uszczelnienia jest ochrona przed przenikaniem zanieczyszczeń do wnętrza, to wargę uszczelniającą powinna być skierowana na zewnątrz (→ rys. 61).

Innym rodzajem uszczelnień są pierścienie uszczelniające typu V (→ rys. 62) stosowane do uszczelniania węzłów łożyskowych smarowanych zarówno smarem plastycznym, jak i olejem. Gumowy pierścień sprężysty uszczelnienia jest osadzony na wale i obraca się wraz z nim, podczas gdy wargę uszczelniającą jest lekko dociskana w kierunku osiowym do nieruchomej powierzchni współpracującego elementu maszyny, np. do oprawy. W zależności od materiału, pierścienie typu V mogą pracować w temperaturze od -40 do $+150$ °C. Są one łatwe do zabudowy i pozwalają przy niewielkich prędkościach obwodowych na stosunkowo dużą niewspółosiowość wału w stosunku do oprawy. Chropowatość powierzchni współpracującej R_a w granicach od 2 do 3 μm jest zwykle wystarczająca. Przy prędkościach obwodowych ponad 8 m/s pierścień typu V musi być ustalony osiowo na wale, a przy prędkościach ponad 12 m/s należy dodatkowo zabezpieczyć go przed podniesieniem stosując pierścień wspierający. Przy prędkości obwodowej przekraczającej 15 m/s wargę uszczelniającą odrywa się od powierzchni współpracującej i uszczelnienie stykowe staje się uszczelnieniem szczelinowym. Skuteczność uszczelnienia pierścieniem typu V polega głównie na tym, że dzięki swej konstrukcji pierścienie V działają również jako odrzutnik, który odpycha zanieczyszczenia stałe i ciecze. Z tego względu pierścienie typu V są zazwyczaj montowane na zewnątrz oprawy przy smarowaniu smarem plastycznym, a wewnątrz oprawy i wargę w kierunku od łożyska przy smarowaniu olejem. Pierścienie typu V, stosowane jako uszczelnienie pomocnicze, chronią uszczelnienie główne przed nadmiernymi zanieczyszczeniami i wilgocią.

Uszczelnienia zaciskane do osiowego uszczelniania wałów (→ rys. 63) są stosowane jako uszczelnienia pomocnicze dla wałów o dużej średnicy w zastosowaniach wymagających dodatkowej ochrony dla uszczelnienia głównego. Uszczelnienia te są montowane na elemencie nieruchomym, a ich wargę uszczelniającą opiera

się o wirującą powierzchnię współpracującą. Dla uszczelnień zaciskanych wystarczy, że powierzchnia współpracująca jest dokładnie toczona i jej chropowatość wynosi $R_a = 2,5 \mu\text{m}$.

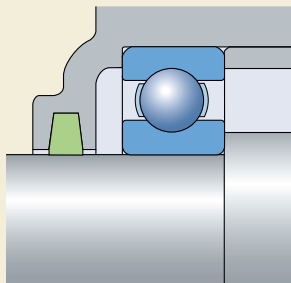
Uszczelnienia mechaniczne (→ rys. 64) są przeznaczone do zastosowań w łożyskowaniach smarowanych smarem plastycznym lub olejem i pracujących w bardzo ciężkich warunkach przy niskich prędkościach. Uszczelnienia te składają się z dwóch dokładnie obrobionych ślizgowych pierścieni uszczelniających i dwóch tworzywowych sprężyn talerzowych (sprężyn Belleville'a), które ustawiają pierścienie ślizgowe w oprawie i zapewniają konieczny równomierny docisk ich czoł. Nie ma specjalnych wymagań co do wykończenia powierzchni osadzenia uszczelnień w otworze oprawy.

Uszczelnienia filcowe (→ rys. 65) są zwykle stosowane przy smarowaniu smarem plastycznym. Ten rodzaj uszczelnienia jest prosty, tani i dostosowany do prędkości obwodowych do 4 m/s i temperatur roboczych do $+100^\circ\text{C}$. Powierzchnie współpracujące powinny być szlifowane, a wartość R_a nie powinna przekraczać $3,2 \mu\text{m}$. Skuteczność uszczelnienia filcowego można znacznie poprawić przez zastosowanie dodatkowego uszczelnienia labiryntowego. Pierścienie lub taśmy filcowe przed włożeniem do rowka oprawy powinny być nasączone olejem rozgrzanym do około 80°C .

Stalowe tarcze sprężynujące (→ rys. 66) są prostym, tanim i zajmującym mało miejsca uszczelnieniem dla smarowanych smarem plastycznym łożysk niewahliwych, szczególnie dla łożysk kulkowych zwykłych. Tarcze są mocno dociśnięte do czoła pierścienia zewnętrznego lub wewnętrznego, a ich krawędź uszczelniająca przylega do czoła drugiego pierścienia. Po określonym czasie docierania to uszczelnienie stykowe staje się uszczelnieniem bezstykowym o bardzo wąskiej szczelinie.

Bardziej szczegółowe informacje dotyczące uszczelnień oferowanych przez SKF można znaleźć w katalogu SKF pt. „Uszczelnienia przemysłowe” lub w „Katalogu Interaktywnym SKF” dostępnym na stronie internetowej www.skf.com. Informacje nt. innych uszczelnień zintegrowanych z wyrobami SKF, jak np. uszczelnień do opraw łożyskowych, zawarte są także w literaturze specjalistycznej poświęconej tym produktom.

Rys. 65



Rys. 66

