

Toczno-ślizgowy węzeł łożyskowy wałów maszynowych, zwłaszcza wysokoobrotowych

Przedmiotem wynalazku jest toczno-ślizgowy węzeł łożyskowy wałów maszynowych, zwłaszcza wysokoobrotowych. Węzeł łożyskowy przeznaczony jest do łożyskowania wałów maszyn pracujących zwłaszcza przy dużych i bardzo dużych prędkościach wirowania.

W zakresie dużych prędkości obrotowych, a więc i dużych prędkości poślizgu wałów względem elementów łożysk bardzo dobrze pracują łożyska ślizgowe o smarowaniu elastohydrodynamicznym olejem lub innymi cieczami. Przy ekstremalnie dużych prędkościach obrotowych stosuje się też smarowanie gazem, głównie powietrzem lub azotem. Problemy powstają, gdy szybkoobrotowe łożyska ślizgowe muszą okresowo pracować przy znacznie zmniejszonej prędkości obrotowej, np. przy rozruchu i podczas wybiegu, gdy nośność filmu olejowego jest niewystarczająca. Dla wystąpienia efektu smarowania płynnego niezbędne jest stałe, nieprzerwane dostarczanie środka smarnego w strefę tarcia oraz dostatecznie duża prędkość poślizgu. Trudności te szczególnie jaskrawo występują przy rozruchu, zwłaszcza po dłuższym postoju. Niedostateczna jest wtedy również podaż środka smarnego, dochodzi do tarcia półsuchego, co powoduje gwałtowny wzrost zużycia, zwłaszcza panewek łożysk ślizgowych wykonanych najczęściej z miękkich stopów, np. cynowo-ołowiowych.

Występują też wtedy bardzo zwiększone opory ruchu w łożyskach, co zmusza do stosowania zwiększonych mocy silników napędowych niezbędnych dla rozruchu. Praca łożyska ślizgowego w tych warunkach grozi zatarciem z dużymi skutkami technicznymi i ekonomicznymi.

Łożyska toczne z kolei, smarowane najczęściej smarami plastycznymi, cechują się bardzo małymi oporami obrotu w okresie rozruchu. W miarę wzrostu prędkości obrotowych opory ruchu łożysk tocznych wydatnie rosną, pojawiają się też

problemy z chłodzeniem i skutecznym smarowaniem. Przy dużych i bardzo dużych prędkościach obrotowych następuje gwałtowny wzrost obciążenia elementów łożysk tocznych wskutek działania sił odśrodkowych i momentu giroskopowego wirujących elementów tocznych. Grozi to przyspieszeniem zniszczenia łożysk, które gdy występuje nagle może prowadzić do gwałtownych zablokowań ruchu maszyny. Wynikają stąd ograniczenia stosowania łożysk tocznych, zwłaszcza większych rozmiarów, do pracy z dużymi prędkościami wirowania.

W niektórych szybkobieżnych układach stosuje się zasadę pracy „non stop”. Raz uruchomione łożysko nie jest wyłączane nawet wtedy, gdy nie jest wykorzystywane np. w czasie dłuższych przerw. Jest to rozwiązanie trudne do zaakceptowania z uwagi na duże straty biegu jałowego. Poza tym rozruchy i tak muszą się kiedyś odbywać z opisanymi skutkami.

Dodatkowe zewnętrzne zasilanie łożyska w środek smarny podawany bezpośrednio w strefę tworzenia się filmu olejowego jest mało efektywne, gdyż kanały dostarczające dodatkowy olej obniżają skuteczność zasadniczego filmu smarnego. Wysokie ciśnienie w filmie olejowym powoduje „ucieczkę” oleju, zakłócając prawidłowe formowanie się głównego filmu olejowego. Wszystkie opisane rozwiązania mogą być powodem generowania drgań łożyskowych wałów, co w wielu szybkobieżnych urządzeniach jest bardzo niepożądane.

Znane rozwiązania przedstawionego problemu polegają na dołączeniu do łożyska ślizgowego ze smarowaniem elastohydrodynamicznym dodatkowego łożyska smarowanego olejem dostarczanym z osobnego układu zasilającego pod wysokim ciśnieniem. Takie łożysko hydrostatyczne pracuje wtedy stale wspomagając główne łożysko ślizgowe, albo okresowo, np. w czasie rozruchu, a potem jest odłączane. Jest to rozwiązanie bardzo złożone, wymaga osobnego zasilania w olej pod wysokim ciśnieniem. Jest więc nieefektywne, bardzo rozbudowane i zawodne. Stosowane bywa też użycie w łożysku ślizgowym oleju o znacznie wyższej lepkości niż wymagana przy jego ciągłej pracy. Skrócony i ułatwiony jest dzięki temu rozruch łożyska, zmniejszona częściowo intensywność zużycia w czasie rozruchu.

Zwiększona lepkość oleju powoduje jednak znaczny wzrost generowania ciepła wskutek dużych oporów ruchu oleju w łożysku, gdy znajdzie się w zakresie dużych prędkości obrotowych. Konieczne jest wtedy intensywne zewnętrzne chłodzenie łożyska przez np. węzownice wodne umieszczone wewnątrz łożyska z wymuszonym przepływem wody. Jest to więc rozwiązanie o niskiej energetycznej efektywności, dość złożone i tylko częściowo ograniczające opisane niekorzystne zjawiska występujące przy rozruchu i w czasie wybiegu.

Istnieje więc potrzeba zmniejszenia oporów rozruchowych i ograniczenia zużycia przy jednoczesnym niezawodnym działaniu węzłów łożyskowych w zakresie dużych prędkości obrotowych. Dotyczy to takich maszyn jak turbiny energetyczne, zwłaszcza gazowe, szybkoobrotowe sprężarki wirnikowe gazów, pompy wirowe, ultraszybkie wirówki, urządzenia giroskopowe stosowane w żegludze, lotnictwie i pojazdach specjalnego przeznaczenia. Potrzebę tę wypełnia węzeł łożyskowy według wynalazku w postaci zespolonej konstrukcji wykorzystującej zalety obu opisanych rodzajów łożysk.

Istotą rozwiązania jest toczno-ślizgowy węzeł łożyskowy wałów maszynowych zawierający łożysko toczne i łożysko ślizgowe charakteryzujący się tym, że posiada tuleję pośredniczącą i co najmniej trzy rozmieszczone po obwodzie wału segmentowe obejmujące sprężyny, przy czym obejmę segmentową są połączone z tuleją pośredniczącą elementami aktywnymi, a łożysko ślizgowe podparte jest na środku wspólnej obudowy.

Elementy aktywne stanowią pierścienie i wykonane są z materiału z pamięcią kształtu.

Elementy aktywne wykonane są jako bimetaliczne.

Toczno-ślizgowy węzeł łożyskowy posiada przegrodę z uszczelnieniem wewnętrznym.

Tuleja pośrednicząca posiada występy w obejmach segmentowych.

Zgodnie z wynalazkiem przy rozruchu węzła łożyskowego pracuje on wyłącznie w oparciu o łożysko toczne, a gdy prędkość obrotowa osiąga wielkość

gwarantującą wystąpienie efektu smarowania elastohydrodynamicznego, następuje przyjęcie pracy w sposób płynny przez łożysko ślizgowe, zaś łożysko toczne zostaje w pełni wyłączone z pracy i przechodzi w stan spoczynku.

Węzeł łożyskowy według wynalazku jest całkowicie bezobsługowy, w czasie jego użytkowania nie wymaga żadnych czynności regulacyjnych. Jest też bardzo efektywny energetycznie i cechuje się szczególnie dużą trwałością eksploatacyjną. Ważną zaletą użytkową węzła łożyskowego według wynalazku jest możliwość stosowania do smarowania łożyska ślizgowego oleju o obniżonej lepkości, gdyż nie musi on spełniać funkcji smarowania przy małej prędkości obrotowej, gdyż wtedy pracuje wyłącznie łożysko toczne. Mała lepkość oleju to zdecydowanie mniejsze generowanie ciepła przy pracy z dużymi prędkościami, a więc mniejsze straty energetyczne i ułatwione chłodzenie. Olej o niskiej lepkości ponadto w mniejszym stopniu zmieniają swoje własności pod wpływem temperatury i czasu pracy. Również i z tego powodu węzeł łożyskowy według wynalazku cechuje się szczególnie dużą trwałością eksploatacyjną oraz w czasie użytkowania nie wykazuje zmian własności użytkowych. Jego stosowanie w szybkoobrotowych układach mechanicznych maszyn i urządzeń może przynieść duże efekty techniczne i ekonomiczne, służy też poprawie warunków bezpieczeństwa pracy. Węzeł łożyskowy może być również przydatny w urządzeniach, które pracują w szczególnie szerokim zakresie zmienności prędkości obrotowych.

Węzeł łożyskowy według wynalazku w przykładzie wykonania ilustruje rysunek, na którym fig. 1 to półprzekrój wzdłużny przez węzeł łożyskowy, fig. 2 to ćwierćprzekrój w płaszczyźnie A-A, fig. 3 to szczegół układu po zaistnieniu przełączenia funkcji obu rodzajów łożysk, zaś fig. 4 ilustruje przykład wariantowego rozwiązania konstrukcyjno-materiałowego elementu aktywnego węzła.

Łożyskowany wał 1 posiada w przykładzie wykonania czop końcowy 1a wspólny dla łożyska tocznego 2 i dla łożyska ślizgowego 3. Łożysko ślizgowe 3 podparte jest krawędziowo na środku 4 wspólnej obudowy 5 w celu uzyskania wahliwości

eliminującej skutki nieuniknionych odchyłek wykonawczych i odkształceń sprężystych wału. Łożysko toczne 2 osadzone jest swoim pierścieniem zewnętrznym na wspólnej obudowie 5 a pierścieniem wewnętrznym łożyska na tulei pośredniczącej 6. Tuleja pośrednicząca 6 posiada występy 6a pasowane suwliwie w wybranych obejmach segmentowych 8. Równomiernie rozmieszczone po obwodzie wału obejmy segmentowe 8 (w przykładzie wykonania w liczbie 6) zawierają sprężyny naciskowe 9, korzystnie typu talerzowego. Obejmy segmentowe 8 są połączone z tuleją pośredniczącą 6 elementami aktywnymi 7, w przykładzie wykonania w formie pierścieniowej. Pierścieniowe elementy aktywne 7 są zabezpieczone przykręconymi nakładkami 10. Wspólna obudowa 5 zamknięta jest od strony łożyska tocznego pokrywą 11, a od strony łożyska ślizgowego pokrywą 12 z uszczelnieniem obrotowym 13. Przestrzeń łożyska tocznego opcjonalnie jest oddzielona od przestrzeni łożyska ślizgowego przegrodą 14 z uszczelnieniem wewnętrznym 15. Obudowa węzła łożyskowego posiada uźebrowanie 16 ułatwiające oddawanie ciepła generowanego podczas pracy łożyska ślizgowego przy wysokich obrotach wału. Panewka 17 łożyska ślizgowego posiada rowki i kanały smarownicze 18, korzystnie posiadające wzajemne połączenia.

Podczas startu z pozycji spoczynkowej oś wału 1 dzięki odpowiednio dobranej charakterystyce sprężyn 9 zajmuje pozycję dokładnie w osi węzła łożyskowego. Charakterystyka i napięcie wstępne sprężyn 9 uwzględnia wielkość i kierunek spoczynkowego wału. W ten sposób łożysko ślizgowe jest przy rozruchu całkowicie odciążone. Rozruch układu powoduje, że dzięki sprzężeniu ciernemu czopa 1a z obejmami segmentowymi 8 poprzez tuleję pośredniczącą 6 rozpoczyna pracę łożysko toczne 2, cechujące się małym oporem rozruchu. W czasie pracy łożyska tocznego ze wzrastającą prędkością obrotową następuje nagrzewanie się całej strefy łożyska tocznego ze szczególnym uwzględnieniem tulei pośredniczącej 6 i elementów aktywnych 7. Gdy temperatura elementów aktywnych osiągnie założoną wielkość następuje zmiana ich kształtu, co skutkuje stopniowym

uwalnianiem sprzężenia ciernego czopa **1a** z segmentowymi obejmami **8**. Następuje płynne przejmowanie obciążenia z łożyska tocznego na łożysko ślizgowe, które osiągnęło już wtedy prędkość obrotową umożliwiającą powstanie siły nośnej filmu olejowego, zgodnie z istotą smarowania hydrodynamicznego. Fig. 3 ilustruje przykładową postać pierścieniową elementu aktywnego wykonanego z materiału z pamięcią kształtu po zmianie jego kształtu na eliptyczny przy osiągnięciu temperatury przemiany strukturalnej. Po całkowitym ustaniu sprzężenia ciernego segmentowych obejm z czopem wału i przejściu pełnego obciążenia przez łożysko ślizgowe, łożysko toczne zatrzymuje się całkowicie w oczekiwaniu na ponowne podjęcie pracy. Praca łożyska ślizgowego przy pełnej prędkości obrotowej powoduje, że ustala się podwyższona temperatura strony łożyska tocznego na takim poziomie, że stan wysprzęglenia łożyska tocznego utrzymuje się w sposób ciągły tak długo, jak pracuje łożysko ślizgowe.

Gdy prędkość obrotowa łożyska ślizgowego spada (często wraz ze spadkiem obciążenia) w wyniku np. wyłączenia napędu następuje spadek temperatury węzła łożyskowego powodując płynny powrót elementów aktywnych do kształtu wyjściowego i ponowne zasprzęglenie łożyska tocznego. łożysko toczne stopniowo przejmuje obciążenie węzła i pracuje ono przez cały okres wybiegu, aż do pełnego zatrzymania. Zabezpiecza to łożysko ślizgowe przed opisanymi szkodliwymi zjawiskami, głównie w postaci zwiększonego zużycia wskutek utraty nośnego efektu filmu olejowego. W tym stanie węzeł łożyskowy pozostaje w pełnej gotowości do ew. ponownego rozruchu w pisanych uprzednio fazach. Dzięki opisanemu rozdziałowi funkcji rozruch węzła łożyskowego odbywa się zawsze przy minimalnym oporze ruchu łożyska tocznego, zaś zasadnicza praca w zakresie wysokich prędkości obrotowych odbywa się ze zmniejszonymi oporami ruchu dzięki smarowaniu elastohydrodynamicznemu łożyska ślizgowego olejem o obniżonej lepkości. Ten rozdział funkcji obu łożysk zapewnia zachowanie szczególnie dużej trwałości całego węzła łożyskowego, gdyż łożysko toczne pracuje tylko okresowo przez krótki czas rozruchu, a pracujące wyłącznie w warunkach

tarcia płynnego łożysko ślizgowe praktycznie nie ulega zużyciu. Zachowana jest też duża stabilność pracy węzła łożyskowego w pełnym zakresie prędkości obrotowych.

Konstrukcja węzła łożyskowego według wynalazku może być łatwo modyfikowana z dostosowaniem do potrzeb. W miejsce elementów wykonanych z materiału z pamięcią kształtu mogą być zastosowane tańsze elementy aktywne innego rodzaju, np. wykonane w kształcie litery C elementy bimetaliczne. Jako elementy aktywne mogą też być zastosowane elementy wykonane z materiału o dużym współczynniku liniowej rozszerzalności cieplnej, w tym i z miedzi o podwyższonej czystości. Fig. 4 ilustruje przykładowe ukształtowanie takich elementów w postaci tulejek 20. Poprzez śrubę 19 z nakrętką regulacyjną 21 tulejki miedziane 20 odciągają obejmę segmentowe od czopa wału 1a, gdy wzrasta ich temperatura. Zaletą takiego rozwiązania jest szczególnie płynna realizacja wysprzęglenia łożyska tocznego. Wówczas w okresie przejściowym możliwa jest praca obu łożysk równocześnie. Wykonanie pokrywy 11 z przezroczystego materiału umożliwia kontrolę w ruchu prawidłowości pracy elementów aktywnych łożyska oraz pomiar prędkości obrotowej, przy której następuje wysprzęglenia łożyska tocznego i jego zatrzymanie.

