Uniwersytet Morski w Gdyni

Wydział Mechaniczny

Rozprawa doktorska

Adam Czaban

Analiza hydrodynamicznego smarowania ferroolejami stożkowego łożyska ślizgowego

Promotor pracy: **Dr hab. inż. Andrzej Miszczak, prof. nadzw. UMG**

Gdynia 2019

Streszczenie

Niniejsza praca dotyczy teoretycznej i numerycznej analizy stacjonarnego hydrodynamicznego smarowania ferroolejem stożkowego łożyska ślizgowego. W pracy została postawiona i zweryfikowana teza mówiąca o tym, że zastosowanie ferrooleju jako cieczy smarującej stożkowe łożysko ślizgowe, daje możliwość wpływania na parametry przepływowe i eksploatacyjne podczas pracy łożyska, poprzez oddziaływanie na ferroolej zewnętrznym polem magnetycznym. Osiągnięcie głównego celu pracy wymagało zrealizowania kilku celów szczegółowych, czyli:

- wyprowadzenie modelu matematycznego, opisującego przepływ ferrooleju w szczelinie smarnej łożyska, w polu magnetycznym i zapisanie uzyskanych równań w postaci bezwymiarowej,
- opracowanie i napisanie programu obliczeniowego w środowisku Matlab, opartego na metodzie Newtona z metodą różnic skończonych,
- uwzględnienie zmian lepkości ferrooleju od temperatury, szybkości ścinania, ciśnienia i wartości indukcji pola magnetycznego, na podstawie przyjętych i zaproponowanych modeli oraz wartości współczynników, uzyskanych na drodze dopasowania funkcji opisanych tymi modelami do dostępnych w literaturze danych doświadczalnych,
- przeprowadzenie obliczeń numerycznych dla przyjętych bezwymiarowych długości łożyska i kątów stożka przy różnych mimośrodowościach względnych,
- zbadanie wpływu ssącego działania wirującego czopa oraz właściwości nienewtonowskich ferrooleju na parametry przepływowe i eksploatacyjne stożkowego łożyska ślizgowego.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie, omówienie wybranych właściwości ferrocieczy oraz przegląd literatury dotyczący smarowania łożysk ślizgowych ferrocieczami. Następnie przedstawiono tezę, cele i metody stosowane w pracy.

W rozdziale drugim przedstawiono wyprowadzenie modelu matematycznego, opisującego stacjonarne hydrodynamiczne smarowanie stożkowych łożysk ślizgowych z

gładką panewką, o pełnym kącie opasania. Równania zasady zachowania pędu, ciągłości strugi, zachowania energii oraz równania Maxwella zapisano w stożkowym układzie współrzędnych, a następnie sprowadzono je do postaci bezwymiarowej. Całkowanie tych równań doprowadziło do uzyskania bezwymiarowego równania typu Reynoldsa, funkcji składowych wektora prędkości i funkcji rozkładu temperatury. W rozdziale również przedstawiono przyjęte modele lepkościowe.

Rozdział trzeci dotyczył weryfikacji uzyskanych w obliczeniach numerycznych wyników. Do napisania własnego programu obliczeniowego wykorzystano środowisko Matlab firmy MathWorks. Zaimplementowano iteracyjną metodę Newtona, w której pierwsze i drugie pochodne oraz pochodne mieszane, przybliżono różnicami skończonymi. Otrzymywane w symulacjach wyniki porównano z wartościami uzyskiwanymi na podstawie znanych z literatury rozwiązań, dla uproszczonych przypadków smarowania nieskończenie długich oraz bardzo krótkich łożysk walcowych. Ponadto dokonano konfrontacji wyników, z rezultatami otrzymywanymi przy wykorzystaniu oprogramowania CFD Fluent z pakietu Ansys Workbench, gdzie przeprowadzono obliczenia dla łożysk smarowanych nienewtonowskim ferroolejem z uwzględnieniem wpływ zmian temperatury na lepkość, ale z pominięciem wpływu ciśnienia i pola magnetycznego.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki symulacji dla rozpatrywanych stożkowych łożysk ślizgowych. Analizowano przypadki, gdy wartość indukcji pola magnetycznego była stała w obszarze szczeliny smarnej i przyjmowała różne wartości oraz przypadki, gdy wartość indukcji liniowo rosła lub malała względem współrzędnej wzdłużnej. Przedstawiono trójwymiarowe rozkłady ciśnienia oraz rozkłady ciśnienia w przekroju poprzecznym i podłużnym. Pokazano także trójwymiarowe rozkłady temperatury na panewce łożyska. Uzyskane rozkłady ciśnienia posłużyły do wyznaczenia składowych sił nośnych w kierunku poprzecznym i wzdłużnym. Następnie, wykorzystując obliczone wartości prędkości, wyznaczono siły tarcia, na podstawie których określono wartości umownego współczynnika tarcia. Dokonano również analizy wpływu uwzględniania członów nieliniowych w równaniach ruchu i rozkładu temperatury, wynikających z ssącego działania wirującego czopa oraz zbadano znaczenie uwzględniania właściwości nienewtonowskich ferrooleju.

W rozdziale piątym zawarto podsumowanie i wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz. Wyszczególniono osiągnięte w pracy cele. Przedstawiono planowane kierunki dalszych badań.

Przedstawione w pracy rozważania dają podstawę do traktowania stożkowego łożyska ślizgowego smarowanego ferroolejem, jako łożyska inteligentnego, ponieważ dzięki zastosowaniu ferrooleju i zewnętrznego pola magnetycznego, można sterować

mimośrodowością względną (czyli zmieniać rozkład wysokości szczeliny smarnej), tak aby uzyskać najkorzystniejsze warunki pracy danego łożyska ślizgowego. Poprzez oddziaływanie zewnętrznym polem magnetycznym można wpływać na jego parametry przepływowe i eksploatacyjne, natomiast uzyskiwana w łożysku siła nośna posiada składową promieniową oraz wzdłużną, więc umożliwia jednoczesne przenoszenie obciążeń działających prostopadle oraz wzdłuż osi obrotowej czopa. Pomimo przyjętych w modelu matematycznym uproszczeń, przeprowadzona analiza daje dobry wgląd w elementy i efekty występujące w procesie smarowania hydrodynamicznego łożyska stożkowego.