

Dr hab. inż. Aleksander Mazurkow, prof. PRz
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Leszka Tomczewskiego

Tytuł rozprawy: „Charakterystyki statyczne łożysk ślizgowych ze śrubowym rowkiem na czopie”.

I. Informacje ogólne

Podstawą prawną dla recenzji stanowi pismo Prodziekana Wydziału Budowy maszyn i Lotnictwa dr hab. inż. Władysława Zieleckiego, prof. PRz, z dnia 11.02.2016 oraz decyzja Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 10.02.2016 r. Promotorem w przewodzie doktorskim jest prof. dr hab. inż. Jarosław Sęp. W pracy przedstawiono badania właściwości łożysk ślizgowych z śrubowym rowkiem na czopie w położeniu równowagi statycznej. Badania przeprowadzono z zastosowaniem symulacji numerycznych oraz badań stanowiskowych.

II. Ocena aktualności przedstawionych w rozprawie badań

Coraz wyższe wymagania stawiane węzłom łożyskowym wymuszają rozwój konstrukcji łożyskowania ślizgowego. Badania tego typu łożysk prowadzi się z zastosowaniem modeli teoretycznych jak i badań eksperymentalnych. Problemem jaki stawiany jest przed konstruktorami jest właściwy dobór cech konstrukcyjnych. Cechy te można wyznaczyć budując odpowiednie charakterystyki łożysk. **Analizując zawarte treści w rozprawie a dotyczące niekonwencjonalnego rozwiązania, jakim jest łożysko ślizgowe ze smarowaniem hydrodynamicznym z naciętym na czopie śrubowym rowkiem zawiera aktualne problemy badawcze.**

III. Przegląd zawartych w pracy treści

Praca składa się z 8 rozdziałów wzbogaconych o 120 rysunków i 41 tabel zawartych na 172 stronach. Rozdziały zasadnicze poprzedzone są wykazem ważniejszych oznaczeń oraz wstępem. W rozprawie zawarto także:

- bibliografię, na którą składa się 127 pozycji
- 18 załączników oraz streszczenie.

W rozdziałach 1 i 2 przedstawiono dla przyjętych kryteriów podziały łożysk ślizgowych, stosowane materiały na panewki łożyskowe, rodzaje tarcia, zużycia oraz przyczyny uszkodzeń. Przedstawiona problematyka jest zarazem przeglądem literatury. W rozdziale 1.3 omówiono parametry pracy łożysk ślizgowych, które w dalszej części pracy posłużą do budowy charakterystyk statycznych. Rozdział 1.4 zawiera klasyfikacje badań teoretycznych i stanowiskowych. W zakończeniu rozdziału 1.4, oraz w rozdziale 2 przedstawiono badania literaturowe wpływu zanieczyszczeń na zużycie i uszkodzenia łożysk. Rozdział 2.2 poświęcono problemom modyfikacji geometrii czopa i wpływem tych modyfikacji na właściwości łożysk. W rozdziale 2.3 przedstawiono wnioski, jakie wypływają z analizy literatury.

W rozdziale 3 na podstawie przeprowadzonej analizy literatury sformułowano tezę pracy:

„Istnieje możliwość dobrania takiej geometrii śrubowego rowka na czopie łożyska ślizgowego, która przy efektywnym ograniczeniu zużycia w przypadku zanieczyszczenia oleju twardymi cząstkami, nie będzie wywierała znaczącego negatywnego wpływu na jego pozostałe charakterystyki, a w szczególności na nośność”.

Bardzo ciekawa teza, choć nie do końca prawidłowo sformułowana. Do tego zagadnienia wrócę jeszcze przy ocenie merytorycznej rozprawy. Autor do udowodnienia tezy sformułował odpowiednie modele teoretyczne oraz zaprojektował i zbudował stanowisko badawcze.

W rozdziale 4 omówiono model fizyczny łożyska ślizgowego z śrubowym rowkiem na czopie. W modelu m. in. przyjęto:

- przepływ oleju, który będzie zgodny z kierunkiem obwodowym i osiowym,

- w strefie nieroboczej olej, który będzie płynąć w postaci wielu strug rozdzielonych powietrzem,
- stałą wartość ciepła właściwego, oraz współczynnika przewodności cieplnej,
- gęstość i lepkość dynamiczną oleju jako zależną od temperatury,
- kieszeń smarową w kształcie prostopadłościanu.

Dla opracowanego modelu fizycznego zbudowano model matematyczny, w skład, którego wchodzi równania:

- zachowania pędu,
- ciągłości przepływu,
- rozkładu temperatury w filmie olejowym.

W równaniach tych przyjęto przepływ oleju jako przestrzenny. Natomiast warunki brzegowe przedstawiono w rozdziale 4.4. Układ równań rozwiązano metodą elementów skończonych wspomagając się programem ANSYS Fluent 16.2. Analizując założenia i równania powstaje pytanie jaki więc został przyjęty model przepływu: płaski, czy przestrzenny?

W rozdziale 5 przedstawiono konstrukcję stanowiska badawczego. Model i schemat stanowiska przedstawiono na rys.5.1 i 5.2. Natomiast na rys.5.4 opisano rozmieszczenie czujników na panewce łożyskowej, które służą do pomiaru: ciśnienia temperatury, przemieszczenia. Przemieszczenia panewki pomierzono w dwóch płaszczyznach prostopadłych do osi wzdłużnej łożyska. W każdej płaszczyźnie umieszczono po 2 czujniki. Ciśnienie filmu olejowego mierzone jest przez dwa czujniki a temperatura filmu olejowego w 21 punktach pomiarowych. Tory pomiarowe oraz pozostałe wielkości, jakie były rejestrowane podczas pracy łożyska omówiono w rozdziale 5.2.

W rozdziale 6 omówiono metodykę badań porównania parametrów pracy uzyskanych za pomocą modelu teoretycznego oraz badań stanowiskowych. Badania te przeprowadzono dla jednego czopa gładkiego i jednego czopa z rowkiem śrubowym. Autor na str. 55 przedstawia, jakie wielkości były porównywane, czyli: maksymalne ciśnienie i maksymalna temperatura w filmie olejowym, wydatki olejowe, położenie czopa względem panewki opisane przez mimośrodowość względną i kąt położenia linii środków. Parametry pracy łożyska z czopem gładkim jakie uzyskano metodą MES porównano z wynikami uzyskanymi z zastosowaniem normy DIN 31652. W rozdziale tym przedstawiono, na podstawie wyników badań

uzyskanych na stanowisku ZAN Politechniki Gdańskiej, także metodykę badań optymalizacyjnych procesu zużycia łożyska. Autor pisze na str. 58, że badania obejmowały 14 wariantów rozwiązań konstrukcyjnych rowka śrubowego, ale na str. 56 podaje tylko 9 wariantów obejmujących 3 skoki linii śrubowej i 3 pola przekroju?

W rozdziale 7 zaprezentowano dla opracowanych modeli teoretycznych wyniki badań właściwości łożysk z panewką gładką i z rowkiem śrubowym, które porównano wynikami uzyskanymi na drodze eksperymentu. Rozdział ten zawiera bardzo szeroką analizę wpływu geometrii łożyska, prędkości i położenia czopa na parametry pracy łożyska. W rozdziale 7.1.1 p.t.: „Badania zużycia łożyska przy zanieczyszczonym oleju” przedstawiono, dla przyjętego kryterium jakim była minimalna intensywność zużycia, wyniki badań optymalizacyjnych.

W **rozdziale 8** przedstawiono podsumowanie rozprawy oraz wnioski końcowe.

IV. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa ma charakter teoretyczno – doświadczalny. Zawarto w niej uzasadnienie wyboru tematyki badań, cele oraz zakres badań. Treści przyporządkowano założonym celom i zakresowi pracy. Dzięki szeroko rozwiniętym rozważaniom teoretycznym jak i wynikom badań eksperymentalnych uzyskano unikatowy zbiór parametrów pracy rozpatrywanego łożyska. Kilka przypadków zweryfikowano za pomocą metody MES, normy DIN 31652, oraz eksperymentalnie.

Za oryginalne osiągnięcia naukowe Doktoranta przedstawione w rozprawie uważam:

- budowę stanowiska badawczego, opracowanie metodyki badań oraz przeprowadzenie badań eksperymentalnych prowadzących do określenia właściwości statycznych z uwzględnieniem zużycia czopów gładkich i z rowkiem śrubowym,
- optymalizację konstrukcji czopa z rowkiem śrubowym ze względu na intensywność zużycia,
- budowę modelu MES oraz wykonanie analizy właściwości statycznych,
- częściową weryfikację badań.

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant jednak nie ustrzegł się przed zastosowaniem pewnych niedopowiedzeń, skrótów myślowych bądź stwierdzeń, które moim zdaniem powinny podlegać dyskusji.

Uwagi do rozprawy:

- rozprawa zyskałaby na przejrzystości, gdyby zastosowano przy jej pisaniu klasyczny układ z podziałem na badania teoretyczne, eksperymentalne, oraz weryfikację wyników badań,
- w rozprawie stosowane jest pojęcie charakterystyka łożyska (np. str.15), jednak w tekście trudno jest znaleźć jej definicję. Ponadto wyjaśnienia wymaga istota ich budowania, czy dla zadanego położenia, czy zadanego obciążenia?
- zapisano błędnie (str.18) definicję modelu izotermicznego: „ciepło i temperatura stałe, brak wymiany ciepła”. Jest wymiana ciepła, gdyż temperatura filmu olejowego jest wyznaczana z bilansu energetycznego,
- nie podano (patrz rys. 5.4) dokładnego rozmieszczenia na panewce czujników do pomiaru temperatury i ciśnienia. Ten fakt znacznie utrudnia analizę przedstawionych wyników badań,
- nie ma w pracy informacji z jaką dokładnością uzyskano równoległe osiowe położenie osi czopa i panewki. A takie możliwości stanowisko ma.
- przedstawienie rozkładów temperatury w formie wykresu słupkowego nie daje informacji o maksymalnej temperaturze filmu olejowego. Brakuje też odniesienia, które punkty pomiarowe znajdują się w strefie roboczej a które w strefie nieroboczej,
- brak jest w pracy rozkładów temperatury ich weryfikacji w kierunku osi wzdłużnej,
- nie przedstawiono rozkładów ciśnienia w kierunku obwodowym oraz w kierunku osi wzdłużnej. Wyniki badań , co prawda tylko w dwóch punktach, ale można było porównać z wynikami z badań stanowiskowych,
- analizę wyników badań utrudnia także brak szczegółowego opisu warunków brzegowych dla pola temperatury i ciśnienia z podziałem na strefę roboczą i nieroboczą,
- w rozprawie przedstawiono wyniki badań z porównania parametrów pracy łożyska uzyskanych na drodze teoretycznej z wynikami badań eksperymentalnych. Jednak trudno znaleźć w pracy potrzebnych do takich badań czytelnie określonych kryteriów podobieństwa geometrycznego,

kinematycznego i dynamicznego. Czytelnik musi się domyślać- patrz rys. np. 7.9, tabl. 7.9.

- równania 4.1-4.3 są nieprawidłowo zapisane. Choć tu też pojawia się pytanie, czy Doktorant przeanalizował udział składowych tych równań w pędzie płynu?
- doktorant wykazał w pracy wpływ skoku linii śrubowej i pola powierzchni przekroju na parametry pracy i zużycie łożyska. Pytanie, czy wpływ na pracę łożyska ma także kształt rowka?
- str. 7, rys.1.1. zawiera błędy rysunkowe. Czop nie powinien być zakreskowany,
- przyjmując do rozważań temperatury jednostkę $^{\circ}\text{C}$ wykazane na wykresach np. rys. 7.12 i tekst str. 70 różnice będą znacznie większe,
- błędne konstrukcje wyrazowe, skróty myślowe, slogany:
 - pytanie do tezy pracy (str.28), która w recenzji została zacytowana przy omawianiu rozdziału 3: o jakie pozostałe charakterystyki Autorowi chodzi?
 - Str.6 cytuję: „Najczęstszą przyczyną uszkodzenia powierzchni ślizgowej łożysk są cząstki stałe zawarte w oleju”. Pytanie, na jakiej podstawie to Autor stwierdził?
 - str.6 cytuję: „Przeprowadzone badania przedstawiają dobór parametrów geometrycznych rowka śrubowego na powierzchni czopa”. Parametry geometryczne można przyjąć do badań lub też mogą być one wynikiem badań.
 - str.27 cytuję: „Świadome kształtowanie warstwy wierzchniej, jak wynika z analizy literatury, spełnia określone funkcje” a dalej jest mowa o śrubowym rowku. Chyba tutaj Autor miał na myśli wpływ zmodyfikowanej geometrii czopa i panewki na właściwości łożysk?
 - str. 42 czytuję: „Głównym elementem stanowiska jest zespół głowicy badawczej zamontowany w oprawie”. Zespół nie może być elementem stanowiska. Natomiast stanowisko może być zbudowane z zespołów.

V. Podsumowanie i wniosek końcowy

Analizując cele naukowe rozprawy i plan badań można stwierdzić, że Doktorant narzucił sobie ambitne i trudne do wykonania zadania. Przy rozwiązywaniu problemów musiał się wykazać wiedzą z wielu dziedzin nauki (Podstaw konstrukcji maszyn, Mechaniki płynów,

Wymiany ciepła), także znajomością różnego rodzaju oprogramowania. Cele te zrealizował formułując właściwe wnioski. Także dorobek naukowy świadczy o dobrym przygotowaniu doktoranta do prowadzenia działalności naukowo badawczej. Duża samodzielność jaką wykazał doktorant predysponują Jego do prowadzenia badań z zakresu dyscypliny „budowa i eksploatacja maszyn”.

W podsumowaniu stwierdzam, że praca mgr inż. Leszka Tomczewskiego p.t. „Charakterystyki statyczne łożysk ślizgowych ze śrubowym rowkiem na czopie” wymagania spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2013 r. (Dziennik Ustaw nr 65) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Włodzisław Murawski