

Dr hab. inż. Aleksander Mazurkow, prof. PRz
Wydział Mechaniczno – Technologiczny
Politechnika Rzeszowska

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Agnieszki Lenart

Tytuł rozprawy: „*Wpływ struktury geometrycznej powierzchni na właściwości tribologiczne skojarzeń trących w warunkach frettingu*”.

I. Informacje ogólne

Podstawą prawną dla recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa, z dnia 02.10.2017 oraz decyzja Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 27.09.2017 r.

Promotorem w przewodzie doktorskim jest prof. dr hab. inż. Paweł Pawlus. W pracy przedstawiono na podstawie badań eksperymentalnych analizę wpływu struktury geometrycznej powierzchni na właściwości par ciernych pracujących w warunkach frettingu. W pracy zawarto także modele matematyczne stanowiące próbę opisu zjawiska frettingu.

II. Ocena aktualności przedstawionych w rozprawie badań

Fretting jest zjawiskiem fizycznym opisującym proces zużycia adhezyjno – utleniającego par ciernych będących w spoczynku i obciążonych zmiennym polem obciążeń. Zjawiska tego typu mogą zachodzić w połączeniach wciskowych, czy też nitowych. W efekcie może dojść do utraty nośności połączenia. Poznanie właściwości tego rodzaju procesu zużycia może przyczynić się do budowy nowych modeli obliczeniowych połączeń nierozłącznych obciążonych zmiennym polem obciążeń.

Analizując zawarte treści rozprawa zawiera aktualne problemy badawcze.

III. Przegląd zawartych w pracy treści

Praca składa się z 9 rozdziałów wzbogaconych o rysunki i tabele. Zawarta została na 200 ponumerowanych stronach. Rozdziały zasadnicze poprzedzone są wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów oraz wstępem. W rozprawie zawarto także:

- bibliografię, na którą składa się 125 pozycji
- streszczenie w języku polskim jak i angielskim.

W rozdziale 1 (nie został w spisie treści ponumerowany) opisano w jakich warunkach może dojść do powstania frettingu. Podano w jakich rodzajach połączeń zjawisko to może mieć istotny wpływ na pracę różnego rodzaju konstrukcji. **Zwrócono także uwagę na strukturę geometryczną powierzchni (SGP), która może mieć wpływ na zużycie węzłów konstrukcyjnych pracujących w warunkach frettingu.**

W rozdziale 2, przeprowadzono analizę literatury. W podrozdziale 2.1.1 w formie dyskusji przedstawiono różne definicje frettingu. W dalszych podrozdziałach scharakteryzowano obszar styku, sklasyfikowano zjawisko przyjmując za kryterium wielkość amplitudy ruchu oscylacyjnego. W podrozdziale 2.2 przedstawiono wyniki badań opisujących mechanizm powstawania zużycia adhezyjno – utleniającego warstw wierzchnich para ciernych. W kolejnym podrozdziale omówiono współzależność czynników mających wpływ na zużycie frettingowe jak: obciążenie, liczbę cykli, amplitudę częstotliwość poślizgów, obecność środków smarnych, tlenu, wody, twardości materiałów. W podrozdziale 2.4 dokonano podziału parametrów opisujących SGP oraz przedstawiono wyniki badań literaturowych wpływu struktury geometrycznej powierzchni na fretting. W podrozdziale 2.5 przedstawiono przykłady konstrukcji uszkodzonych w wyniku frettingu. We wnioskach z analizy literatury stwierdzono, że dotychczas nie przeprowadzono kompleksowych badań wpływu SGP oraz pary czarnej stal – materiał ceramiczny na fretting. Zauważono także potrzebę zbadania wpływu produktów zużycia na właściwości tribologiczne par ciernych. Rozdział zapisano na 36 stronach.

W rozdziale 3 przedstawiono cel i zakres pracy. **Jako cel pracy przyjęto określenie wpływu SGP na tarcie i zużycie w warunkach frettingu. Badania zostały ograniczone do styku punktowego.** Stwierdzenie, że początkowa chropowatość powierzchni wywiera wpływ na zjawiska zachodzące w warunkach frettingu powinno być sformułowane jako jedna z tez w

pracy. Do realizacji został przyjęty bardzo szeroki zakres badań. Dla przedstawionego zakresu wyniki badań zostały przedstawione w rozdziałach 5-8.

W rozdziale 4 zawarto charakterystykę materiałów, aparatury i metod pomiarowych. Tarcze wykonano ze stali konstrukcyjnej 42CrMo4 o twardościach 40, 47 HRC i stali łożyskowej 100Cr6 o twardości 60 HRC. Kulki zostały wykonane ze stali łożyskowej 100Cr6 o twardości 60 HRC oraz ceramiki WC. Do przeprowadzenia badań frettingowych wykorzystano tester tribologiczny Optimol SRV5. Do pomiaru SGP zastosowano interferometr światła białego Talysuift CCI Lite. Mikroanalizę składu chemicznego dokonano za pomocą mikroskopu skaningowego Vega 3. Natomiast pomiaru naprężeń własnych dokonano za pomocą dyfraktometru XSTRESS 300 G3R.

W rozdziale 5 przedstawiono wyniki badań własnych dla pary cierniej stal – stal. Wielkościami zmiennymi podczas badań były: rodzaj obróbki, amplituda i częstotliwość przemieszczeń, obciążenie normalne, twardość tarczy oraz rodzaj frettingu. Natomiast wielkościami wynikowymi było zużycie objętościowe tarczy i kulki oraz współczynnik tarcia suchego oraz topografia śladów zużycia. Czas trwania każdego badania odpowiadał liczbie cykli równej 18000. Badania przeprowadzono dla 20 powierzchni o różnej SGP. Powierzchnie wykonano stosując obróbkę jedno lub dwuprosesową jak: polerowanie, docieranie, szlifowanie, frezowanie, obróbkę strumieniowo-ścierną, szlifowanie wraz z docieraniem, oraz obróbkę strumieniowo-ścierną wraz z docieraniem. W podrozdziałach 5.2-5.4 dobrano tak amplitudy przemieszczeń, aby prowadzone testy odpowiadały warunkom frettingu całkowitego. Natomiast w podrozdziale 5.5 prowadzone testy odpowiadały warunkom frettingu częściowego. Każdy podrozdział kończy się podsumowaniem wyników badań.

W rozdziale 6 przedstawiono wyniki badań wpływu struktury geometrycznej powierzchni tarczy stalowej w kontakcie z kulką ceramiczną na zużycie w warunkach frettingu całkowitego. Rozdział kończy się podsumowaniem.

W rozdziale 7 przedstawiono wyniki testów opisujących wpływ usuwania produktów zużycia ściernego par ciernych stal-stal, oraz stal – materiał ceramiczny. Cząstki zużycia ściernego usuwano sprężonym powietrzem ze stałymi wartościami ciśnienia równymi 0,1; 0,3; 0,5 MPa. Strumień powietrza był prostopadły do kierunku ruchu oscylacyjnego kulki. Badaniom poddane zostały tarcze, które miały różną SGP. Struktura ta była wynikiem obróbki strumieniowo – ścierniej, szlifowania oraz frezowania. W przypadku frezowania kierunek

ruchu kulki był prostopadły jak i równoległy do śladów obróbki. Rozdział kończy się podsumowaniem.

W rozdziale 8 przedstawiono wyniki badań wpływu SGP powierzchni tarcz smarowanych olejem na objętościowe zużycie ściernie oraz współczynnik tarcia. SGP była uzyskana po obróbce: frezowania, szlifowania, polerowania, docierania. Ponadto badania przeprowadzono dla powierzchni polerowanej na której wykonano na drodze obróbki strumieniowo – ścierniej kieszenie smarowe. Testy prowadzono dla dwóch obciążeń normalnych: 45 N, 100 N, w dwóch temperaturach: 30⁰C, 90⁰C, z zastosowaniem oleju klasy SAE 40. Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów i tabel. Rozdział zawiera także pętle frettingowe, oraz topografie powierzchni kulek i tarcz- powstałe w wyniku przeprowadzonych badań. Rozdział kończy się podsumowaniem.

W **rozdziale 9** przedstawiono podsumowanie rozprawy oraz wnioski końcowe.

IV. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi kompendium wiedzy związanej ze zrozumieniem mechanizmów zachodzących w parach trących w warunkach frettingu. Ma charakter głównie doświadczalny. Zawarto w niej uzasadnienie wyboru tematyki badań, cele oraz zakres badań. Treści przyporządkowano założonym celom i zakresowi pracy. Założone cele i zakres pracy zostały zrealizowane. Potwierdzono w warunkach frettingu wpływ SGP na zużycie objętościowe i współczynnik tarcia. Przedstawione w pracy wyniki mają możliwości aplikacyjne. Doktorantka . wykazała się bardzo dobrą znajomością obsługi aparatury badawczej.

Za oryginalne osiągnięcia naukowe przedstawione w rozprawie uważam:

- poznanie mechanizmu powstawania zjawiska frettingu. Zjawisko to zostało udokumentowane dużą liczbą eksperymentów badawczych,
- wyniki badań wpływu parametrów opisujących SGP na zużycie objętościowe i współczynnik tarcia,
- wyniki badań wpływu rodzaju i właściwości materiałów par trących na zużycie objętościowe i współczynnik tarcia,

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

Uwagi do rozprawy:

- brak kompleksowej syntezy wyników badań, takiej która mogła by być pomocna np. dla konstruktorów podczas obliczeń różnego rodzaju połączeń nierozłącznych
- brak opisu i nieczytelny zapis wartości osi w pętłach frettingowych np. str. 60, rys.5.3,
- brak komentarza, na ile założony model współpracy (kulka - płaszczyzna) oraz parametry do badań jak częstotliwości, amplitudy, obciążenia odzwierciedlają rzeczywiste warunki pracy konstrukcji,
- str. 15, wzór 2.2 brak jednostki. To nie jest wielkość bezwymiarowa,
- na str., 15 i 16 omówiono pętle frettingowe jako funkcje $N=N(A)$ (obciążenie normalne w funkcji amplitudy przemieszczeń). Jednak w dalszej części pracy stosowano do opisu pętli frettingowych funkcję $\mu=\mu(\text{przemieszczenie względne})$. Proszę o wyjaśnienie tego tak postąpiono? Ponadto proszę o podanie jak były tworzone pętle frettingowe? Które wielkości są zmiennymi a które parametrami funkcji?
- str.30. Nieprawidłowe sformułowanie „obecność smaru. Czy tu chodzi o smar?
- str. 33 cytuję: „ Powierzchnie izotropowe mają jednakowe właściwości niezależnie od kierunku, zaś anizotropowe posiadają główny kierunek ukształtowania”. O jakie właściwości chodzi ? Jaki kierunek ukształtowania?
- str. 33 cytuję „ Dwuprocesowa SGP, wydaje się być ważniejsza z funkcjonalnego punktu widzenia niż powierzchnia jednoprocesowa” Co to znaczy?
- str. 56 „ W zakresie pomiaru naprężeń” skrót myślowy . Jakich naprężeń?
- na str. 73 dla obciążenia $N=75\text{ N}$ i średnicy styku sprężystego równego równej $0,27\text{ mm}$ podano naciski jednostkowe równe 1961 MPa . Pytania: co to za naciski oraz jak te naciski wyznaczono?
- np. str. 159 tabl. 7.6, str. 160 tabl. 7.7 brak w tablicy czytelnego i zrozumiałego opisu powierzchni i jej podstawowych parametrów. Trzeba je wyszukiwać co chwila w tekście.

- brak wyników porównania z testów próbek smarowanych olejem i nie smarowanych olejem,
- Str. 151 co to znaczy najlepsze właściwości tribologiczne?
- błędne konstrukcje wyrazowe, skróty myślowe, slogany:
 - str. 43, stwierdzenie może być tezą pracy a nie może stanowić celu i zakresu pracy,
 - str. 40, czym się różni stwierdzenie : okresowo występujący ruch od występowania drgań?

V. Podsumowanie i wniosek końcowy

Analizując cele naukowe rozprawy i plan badań można stwierdzić, że Doktorantka narzuciła sobie ambitne i trudne do wykonania zadania. Przy rozwiązywaniu problemów musiała się wykazać wiedzą wielu przyrządów badawczych, także znajomością różnego rodzaju oprogramowania.. Także dorobek naukowy świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia działalności naukowo badawczej. Duża samodzielność jaką wykazała Doktorantka predysponują ją do prowadzenia badań z zakresu dyscypliny „budowa i eksploatacja maszyn”.

W podsumowaniu stwierdzam, że praca mgr inż. Agnieszki Lenart p.t. „Wpływ struktury geometrycznej powierzchni na właściwości tribologiczne skojarzeń trących w warunkach frettingu” 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.

