

Poznań 15 czerwca 2023 r.

dr hab. inż. Przemysław Tyczewski

Politechnika Poznańska

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krystiana Milewskiego

pt. „Wpływ powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na eksploatację wybranych węzłów tribologicznych”

wykonanej pod kierunkiem:

Promotor: dr hab. inż. Monika Madej, prof. PŚk

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Magdalena Niemczewska-Wójcik, prof. PK

Podstawa prawna: przepisy Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r., poz.1789 z późn. zm.) i Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (DZ. U z 2018 r., poz. 1669).

Podstawa opinii: Uchwała Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej z dnia 17 maja 2023 r. oraz pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej prof. dr hab. inż. Jerzego Składka z dnia 29 maja 2023 r. (M.00-520-86/2023).

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Krystiana Milewskiego pt. *„Wpływ powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na eksploatację wybranych węzłów tribologicznych”* została wydana na Politechnice Krakowskiej, Wydziale Mechanicznym w 2023 roku. Praca liczy 164 stron wydruku komputerowego obejmującego 7 rozdziałów, wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, wprowadzenie, podsumowanie i wnioski, perspektywy rozwoju tematyki oraz zestawienie tabel, rysunków, literatury, streszczenie w języku polskim i angielskim.

Spis literatury zawiera 148 pozycji, w tym 7 opublikowanych w 2023 roku, 17 opublikowanych w ostatnich 5 latach oraz 7 publikacji autorskich. Publikacje mają ścisły związek z tematem rozprawy i w zdecydowanej większości mają zasięg międzynarodowy.

2. Przedmiot i ocena istotności problemu naukowego rozprawy

Zapewnienie wysokiej jakości maszyn i urządzeń w aspekcie technicznym to działanie mające na celu przede wszystkim zagwarantowanie wysokiej niezawodności węzłów ruchowych. Niezawodność maszyn i urządzeń charakteryzuje się głównie odpornością na działanie procesów destrukcyjnych. Z racji konieczności spełniania różnych funkcji ruchowych, maszyny mają wiele węzłów. Wzajemne przemieszczanie się współpracujących części wywołuje destrukcyjne zjawiska tarcie, których intensywność może być spotęgowana współdziałaniem specyficznych środowisk technologicznych.

Różnorodność środowisk technologicznych występujących w maszynach i urządzeniach przemysłowych powoduje, iż elementy węzłów ruchowych ulegają wyjątkowo szybkiemu zużyciu pod wpływem jednoczesnego oddziaływania wymuszeń tarcowych, ściernych i korozyjnych. Ze względu na zmienność warunków pracy, zużycie elementów urządzeń jest zróżnicowane. Z tego też powodu bardzo ważne jest skuteczne przeciwdziałanie ich negatywnym skutkom.

W urządzeniach przemysłowych występuje zużycie elementów maszyn, na przykład: zacierania, utleniania, zmęczenia, erozji, kawitacji, korozji. Procesy destrukcyjne mają charakter złożony. Z reguły występuje nie tylko jeden proces elementarny, ale kilka z różnym natężeniem.

Wśród najistotniejszych wymagań stawianym węzłom tarcia jest ich zmniejszenie zużycia, między innymi poprzez stosowanie powłok na elementy trące oraz środków smarowych. Wykorzystanie powłok diamentopodobnych w przemyśle kruszywowym jest bardzo obiecujące i rozwojowe, tym bardziej, że nie ma dużej liczby publikacji w tym temacie.

Wykorzystanie wysoko wyspecjalizowanych środków smarowych, jakimi są ciecze jonowe do smarowania łożysk w przemyśle kruszywowym, jest również bardzo wskazane, gdyż obecnie nie ma dużo informacji o ich wykorzystaniu w rzeczywistych elementach przemysłowych.

Dysertacja mgr inż. Krystiana Milewskiego pt. *„Wpływ powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na eksploatację wybranych węzłów tribologicznych”*, realizowana pod opieką naukową promotora dr. hab. inż. Moniki Madej prof. PŚk oraz przy wsparciu merytorycznym i

metodycznym promotora pomocniczego dr hab. inż. Magdaleny Niemczewskiej-Wójcik, prof. PK dotyczy sedna powyższych zagadnień. Jej tematyka wpisuje się bowiem w obszary problemowe z zakresu zwiększenia niezawodności węzłów tarcia.

Realizacja badań tribologicznych modelowych oraz w warunkach rzeczywistych przyczyniła się do zwiększenia wiedzy o wykorzystaniu powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych w węzłach tarcowych wykorzystywanych w przemyśle.

Cel naukowy poznawczy pracy: *„Określenie wpływu powłok diamentopodobnych na mikrostrukturę, strukturę geometryczną powierzchni, zwilżalność, właściwości mechaniczne oraz odporność przeciwzużyciową węzłów tarcia smarowanych cieczami jonowymi”* został osiągnięty.

Cel naukowy użytkowy pracy: *„Określenie wpływu powłok diamentopodobnych na trwałość eksploatacyjną oraz możliwość ich zastosowania w systemach tribologicznych w łożyskach przenośników taśmowych”* został zrealizowany.

W szczególności praca ta jest próbą, a jak w treści pracy wykazano skuteczną, poszukiwania korelacji wynikowej pomiędzy wykorzystaniem różnych powłok diamentopodobnych oraz różnych cieczy jonowych na zużycie węzłów tarcia. Po przeanalizowaniu badań dokonano oceny wpływu powłok diamentopodobnych na mikrostrukturę, strukturę geometryczną powierzchni, zwilżalność, właściwości mechaniczne oraz odporność przeciwzużyciową. Jednocześnie pozytywnie określono wpływ powłok diamentopodobnych na trwałość eksploatacyjną oraz możliwość ich zastosowania w systemach tribologicznych szczególnie w łożyskach przenośników taśmowych. Co stanowi osiągnięcie celów pracy. Przełożyło się to w efekcie na zaproponowaniu optymalnej powłoki diamentopodobnej oraz optymalnej cieczy jonowej.

Można zatem stwierdzić, że przedstawiona praca doktorska Pana mgr inż. Krystiana Milewskiego wpisuje się swoją tematyką i zrealizowanym zakresem prac w interesujące i aktualne obszary badań poznawczych i aplikacyjnych nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

3. Analiza treści rozprawy

Rozprawę rozpoczyna krótkie (4 strony) „Wprowadzenie”. Autor przedstawił problematykę zużywania tribologicznego węzłów tarcia w przemyśle kruszywowym, oraz dokonał analizy ilości publikacji na temat powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na podstawie

bazy Scopus Science Direct z lat 2000-2023. Rezultatem analizy jest znalezienie 69 publikacji na temat wykorzystania powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych w łożyskach.

Praca podzielona jest na dwie części. Pierwsza to analiza obecnego stanu wiedzy na temat powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych oraz część druga doświadczalna zawierająca wyniki własnych badań wraz z ich analizą.

Część I, Analiza literatury

Rozdział 1. *„Materiały stosowane w systemach tribologicznych”*. W rozdziale tym o ilości stron 31, autor przedstawił zagadnienia związane z materiałami wykorzystywanymi w węzłach tarcia oraz istotę ich smarowania. Ponadto zawarł charakterystykę powłok diamentopodobnych, technik ich wytwarzania oraz charakterystykę cieczy jonowych.

Rozdział 2. *„Eksploatacja systemów tribologicznych”*, liczy 16 stron. Autor przedstawił w nim problematykę związaną z eksploatacją systemów mechanicznych, w szczególności zagadnienia związaną z warstwą wierzchnią technologiczną oraz eksploatacyjną. W rozdziale tym doktorant scharakteryzował również zużywanie maszyn i urządzeń w przemyśle kruszywowym.

Rozdział 3. *„Podsumowanie analizy literatury”*. Rozdział ten zawarty na 2 stronach stanowi podsumowanie stanu wiedzy wynikającej z analizy literatury. Zawarto w nim wniosek *„celowe jest przeprowadzenie badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych dotyczących zastosowania powłok diamentopodobnych i cieczy jonowych w skojarzeniach trących przenośników taśmowych. Wnioski wynikające z tych badań mogą stanowić rozszerzenie literatury w tym zakresie.”* Przedstawiony wniosek jest słuszny, z którym w pełni się zgadzam.

Część II, Doświadczalna

Rozdział 4. *„Cel pracy i zakres badań”*, liczy 4 strony. Doktorant zawarł w tym rozdziale hipotezę badawczą: *„Modyfikacja warstwy wierzchniej elementów stalowych, metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej wspomaganego plazmą – PACVD, wpłynie na poprawę wybranych właściwości użytkowych tych elementów m.in.: odporności na zużycie przez tarcie, twardości, chropowatości powierzchni, a w efekcie na zmniejszenie intensywności ich zużywania w badanych systemach tribologicznych. Oczekiwanym efektem będzie wzrost niezawodności materiałów stosowanych na łożyska przenośników taśmowych oraz wydłużenie czasu ich trwałości eksploatacyjnej”*. W rozdziale tym zawarto przedstawiony wcześniej cel naukowy poznawczy pracy, cel naukowy użytkarny pracy, oraz zakres pracy, plan i program badań.

Rozdział 5. „*Materiały do badań*”. W rozdziale tym o ilości 2 stron autor omówił materiały stosowane do badań. Główna część to opis przygotowania próbek oraz charakterystyki powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych stosowanych w badaniach.

Rozdział 6. „*Aparatura i metodyka badań*”. Doktorant przedstawił na 14 stronach wykorzystywaną aparaturę i metodykę badań stosowaną podczas realizacji tej pracy. W szczególności badania morfologii powierzchni i ich skład, grubość powłok, strukturę geometryczną powierzchni, kąt zwilżania i napięcie powierzchniowe, mikrotwardość, adhezję, badanie tribologicznych systemów modelowych oraz tribologiczne badanie eksploatacyjne.

Rozdział 7. „*Wyniki badań i dyskusja*”, jest największym rozdziałem liczącym 65 stron (około 40% całości pracy). Zawiera on wyniki zrealizowanych badań laboratoryjnych i rzeczywistych wraz z ich omówieniem. Przedstawiono ocenę powłok oraz wyniki z wykonanych testów tribologicznych, które podzielono na dwa typy – modelowe badania na stanowisku w skojarzeniu kulka – tarcza oraz rzeczywiste w łożyskach tocznych pracujących w przenośnikach taśmowych.

Po tym rozdziale przedstawiono część III pracy, czyli „*Podsumowanie i wnioski*” (5 stron). W części tej przedstawiono podsumowanie uzyskanych wyników badań własnych oraz wnioski z tych badań.

Praca kończy się częścią IV „*Perspektywy rozwoju tematyki*” (1 strona) oraz zestawieniem tabel (1 strona), rysunków (4 stron), literaturą (8 stron), streszczeniem w języku polskim (1 strona) oraz angielskim (1 strona).

4. Ocena pracy, uwagi ogólne i szczegółowe

Pod względem metodycznym pracę oceniam wysoko. Odpowiada postawionemu celowi, przyjętym zadaniom badawczym i jest dostosowana do obowiązujących w tym zakresie wymogów. Na szczególną uwagę zasługuje pokaźny materiał badawczy, różnorodność wykorzystywanej aparatury badawczej i pomiarowej oraz wykonanie badań modelowych jak również na rzeczywistym obiekcie przemysłowym. Wysoko oceniam jakość opracowania redakcyjnego, rysunków, schematów i tabel. Układ logiczny treści rozprawy jest czytelny, a zawarte treści są ze sobą dobrze powiązane i tworzą logiczną całość. Praca została napisana poprawnym stylem z wykorzystaniem właściwego nazewnictwa inżynierskiego.

Uwaga ogólna

W rozdziale 7 na rysunkach 7.6d-7.8d oraz na 7.9c-7.11c przedstawiono strukturę geometryczną powierzchni próbek przed badaniami. Wynika z niej, że profile chropowatości powierzchni bez powłoki oraz z powłoką a-C:H są porównywalne, natomiast struktura geometryczna powierzchni z powłoką a-C:H:Si jest bardziej rozwinięta. Pytania: Czy do pomiarów wybrano po jednej próbce czy jest to średnia z kilku pomiarów? Czy dokonano sprawdzenia poprawności wykonania powłok?

Pytania te nasuwają się po analizie profili chropowatości powierzchni nie biorących udziału w badaniach zużyciowych. Profile te nie zawsze są zgodne z początkowymi pomiarami. Przykład, na rysunku 7.39 profile z powłoką a-C:H i a-C:H:Si są porównywalne, odbiegające od profilu bez powłoki. Może powłoka a-C:H została niewłaściwie wykonana? W innych badaniach (rys. 7.49) profile wszystkich powierzchni są porównywalne. Tutaj może powłoka a-C:H:Si jest nieprawidłowo wykonana? Proszę odnieść się do tych uwag.

Uwagi redakcyjne

Praca przygotowana jest bardzo starannie, mimo to Doktorant nie ustrzegł się drobnych niedociągnięć:

- na stronie 9, 4 wiersz od dołu wyraz „stalą” powinno być „stałą”;
- na stronie 22, 8 wiersz od góry wyraz „ciekle” powinno być „ciekłe”;
- na stronie 56, 10 wiersz od dołu wyraz „spółczynnikiem” powinno być „współczynnikiem”;
- na stronie 79, 1 wiersz od góry wyraz „tabela 7.21” powinno być „tabela 7.1”. Nie ma tabeli 7.21, ostatnia to 7.19.

Przedstawione powyżej uwagi dotyczą w głównej mierze kwestii edytorskich i w żaden sposób nie obniżają wartości merytorycznej ocenianej rozprawy.

5. Ocena końcowa

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zaś podjęty przez Doktoranta temat rozprawy dotyczy istotnych i aktualnych z naukowego i technicznego punktu widzenia problemów w obszarze mechanicznym.

Doktorant wykazał się znajomością literatury przedmiotu i umiejętnościami samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a uzyskane efekty mają istotne znaczenie poznawcze i aplikacyjne. Autor wykazał się samodzielnością w formułowaniu oryginalnych problemów naukowych i ich rozwiązywaniu. Zrealizowany modelowy proces badawczy przy użyciu różnorodnej aparatury badawczej, dodatkowo został zweryfikowany na rzeczywistym obiekcie przemysłowym, co potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowych przez Doktoranta. Rezultaty badań pozwalają na stwierdzenie, że problem naukowy został rozwiązany w sposób oryginalny.

W związku z powyższym rozprawa mgr. inż. Krystiana Milewskiego pt. *„Wpływ powłok diamentopodobnych oraz cieczy jonowych na eksploatację wybranych węzłów tribologicznych”* spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r., poz.1789 z późn. zm.).

Rozprawa stanowi podstawę do dopuszczenia do publicznej obrony mgr. inż. Krystiana Milewskiego oraz nadania stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

