

Dr hab. inż. Monika Madej, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Eksploatacji, Technologii Laserowych
i Nanotechnologii
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
27-314 Kielce



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Romka pt. "Kształtowanie odporności na zużycie ściernie powłok nakładanych cieplnie"

Promotor pracy: dr hab. inż. Jarosław Selech, prof. PP
Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Dariusz Ulbrich

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP (DIM.075.320.2023) z dnia 3 lipca 2023 roku.

OCENA DOBORU PROBLEMATYKI BADAWCZEJ I TEMATU ROZPRAWY

Stan początkowy maszyn i urządzeń rolniczych oraz zróżnicowane warunki eksploatacji wpływają na intensywność zużywania się ich elementów roboczych. Dodatkowo zmienne warunki atmosferyczne, sezonowość prac oraz różnorodność gleb powodują uszkodzenia i awarie tych elementów. Dominującym czynnikiem powodującym zużycie elementów maszyn i urządzeń rolniczych jest tarcie. Trwałość eksploatacyjna systemów tribologicznych zależy przede wszystkim od zastosowanych materiałów współpracujących tarciovo oraz warunków pracy. Podczas tarcia elementów ruchomych maszyny oprócz zjawisk cieplnych występują procesy niszczące strukturę wierzchniej warstwy materiału o różnym charakterze oraz intensywności, co prowadzi do powstawania ubytków materiału. Jednym ze sposobów zwiększenia trwałości eksploatacyjnej elementów metalowych systemu tribologicznego jest formowanie warstw powierzchniowych o właściwościach przeciwzużyciowych. Tematyka badawcza recenzowanej pracy, związana z modyfikacją warstw wierzchnich materiałów inżynierskich oraz charakterystyką właściwości tribologicznych jest bardzo złożona. Właściwości użytkowe materiałów stosowanych na elementy maszyn i urządzeń współpracujących tarciovo w znacznym

stopniu zależą od stanu powierzchni, zarówno uzyskanej w procesie wytwarzania - technologicznej warstwy wierzchniej (TWW) oraz tworzącej się na roboczych powierzchniach elementów par trących eksploatacyjnej warstwy wierzchniej (EWW). Stan powierzchni elementów roboczych w znaczący sposób wpływa na właściwości funkcjonalne całego systemu tribologicznego. Wytworzenie odpowiedniej powierzchni roboczej wpływa niewątpliwie na okres użytkowania węzłów tarcia w maszynach i urządzeniach, w tym rolniczych. Problematyka badawcza recenzowanej pracy dotyczy ważnej i aktualnej tematyki związanej z ograniczeniem zużycia elementów roboczych tych maszyn poprzez zastosowanie warstw powierzchniowych.

Rozprawa nt.: „Kształtowania odporności na zużycie ściernie powłok nakładanych cieplnie” mieści się w dyscyplinie naukowej *Inżynieria Mechaniczna* i dotyczy określenia wpływu modyfikacji warstwy wierzchniej stali trudnościeralnej poprzez powłoki nakładane cieplnie na zużycie ściernie w różnych warunkach gleby. Biorąc pod uwagę znaczenie i potencjalny zakres problematyki podjętej w pracy przez mgr inż. Dawida Romka uważam wybór tematu pracy doktorskiej za trafny i uzasadniony.

ZAKRES, CHARAKTERYSTYKA I OCENA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Dawida Romka przedstawiona jest na 122 stronach tekstu i zawiera różnorodny materiał ilustracyjny w postaci 103 rysunków, fotografii i wykresów oraz 11 tabel. Praca doktorska składa się ze streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu treści, 6 rozdziałów i bibliografii. Praca zawiera 5 rozdziałów merytorycznych i zakończona jest wnioskami z badań oraz wskazaniem kierunków dalszych badań. Załączono także spis cytowanej literatury, w której zamieszczono 116 pozycji literaturowych, w tym 3 współautorskie doktoranta oraz strony internetowe. Znaczną część cytowanych pozycji literaturowych stanowią publikacje wydane w okresie ostatnich dwudziestu lat. Wybór literatury uważam za trafny.

Praca napisana jest w układzie klasycznym, tzn. została podzielona na dwie zasadnicze części: teoretyczną oraz doświadczalną. Część teoretyczna wraz z wprowadzeniem obejmuje 2 rozdziały, natomiast badania eksperymentalne zawierające opis zrealizowanych badań wraz z dyskusją wyników kolejne 3. Część związana z wprowadzeniem literaturowym stanowi ok. 40 % całego tekstu, resztę stanowią rozdziały związane z badaniami własnymi doktoranta. Objętość rozprawy jest wystarczająca, uzasadniona i wynika z potrzeby opisu rozważań teoretycznych oraz przeprowadzonych eksperymentów.

Tytuł recenzowanej rozprawy „**Kształtowanie odporności na zużycie ściernie powłok nakładanych cieplnie**” koresponduje z treścią zawartą w pracy, chociaż można byłoby go uściślić rodzaj powłok – napoin oraz ich zastosowanie w maszynach rolniczych. Pod względem formalnym rozprawa została opracowana poprawnie, jej struktura odpowiada przyjętym zasadom, a treść poszczególnych rozdziałów rozmieszczona jest zgodnie z postawionymi celami. Doktorant na początku przedstawił problem badawczy, a następnie dokonał analizy stanu wiedzy, po czym sformułował cel główny i cele szczegółowe pracy.

We wprowadzeniu - rozdział 1. - autor rozprawy określił genezę wyboru tematyki badań oraz zakres badań i układ pracy. Autor pracy założył modyfikację warstwy wierzchniej stali trudnościeralnych poprzez wykonanie powłok nakładanych cieplnie w wyniku napawania konwencjonalnego i laserowego. Wykonał to przy użyciu zrobotyzowanych stanowisk w określonych warunkach technologicznych. Ponadto, zauważył brak istnienia stanowiska badawczego dedykowanego do badań tribologicznych odwzorowującego pracę maszyn i urządzeń rolniczych.

Rozdział 2. to analiza aktualnego stanu wiedzy. Został on podzielony na 7 podrozdziałów, w których doktorant zawarł charakterystykę pojęć związanych z tribologią, przedstawił rodzaje zużywania elementów roboczych maszyn i urządzeń, scharakteryzował mechanizmy zużywania w masie ścierniej. Opisał także stanowiska badawcze stosowane do oceny zużywania ściernego, materiały stosowane w budowie maszyn oraz sposoby ograniczania zużywania ściernego maszyn. Opisy te, poparte zostały wynikami badań oraz licznymi przykładami zmiany parametrów warstwy wierzchniej. Rozdział ten został zakończony podsumowaniem stanu wiedzy.

W rozdziale 3. doktorant określił następujący problem badawczy pracy:

Określenie wpływu modyfikacji warstwy wierzchniej stali trudnościeralnej poprzez powłoki nakładane cieplnie na zużycie ściernie w różnych warunkach gleby.

W oparciu o przeprowadzoną analizę stanu wiedzy i badania własne doktorant podjął się rozwiązać następujący problem naukowy, stwierdzając, że:

Obróbka powierzchni, poprzez nałożenie metodami cieplnymi powłok pozwala na ograniczenie zużycia ściernego, które zależy od parametrów masy ścierniej i właściwości warstwy wierzchniej.

Sformułował także cel ogólny oraz cele cząstkowe pracy.

Celem ogólnym pracy było wyznaczenie wpływu parametrów glebowej masy ścierniej oraz właściwości powłok technicznych na mechanizm procesu zużywania, jego intensywność oraz transformację kształtowo-wymiarową badanych elementów.

Natomiast cele cząstkowe pracy doktorskiej sformułował jako:

- ***Opracowanie koncepcji, zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego umożliwiającego określenie wpływu warunków pracy na zużycie całkowite dla części pokrytych powłokami cieplnymi.***
- ***Poznanie zużycia oraz wpływu czynników środowiska pracy na zużycie całkowite w warunkach laboratoryjnych, elementów maszyn pracujących w glebie, poddanych obróbce powierzchni przez nałożenie powłok metodami cieplnymi.***
- ***Określenie, optymalnego w aspekcie ograniczenia zużycia, kształtu powłoki naniesionej metodami cieplnymi na element pracujący w glebie.***

Osiągnięcie w/w celów wymagało wykonania szeregu zadań, do których doktorant zaliczył:

- analizę stanu wiedzy, z uwzględnieniem materiałów konstrukcyjnych do zastosowań w maszynach rolniczych oraz technik modyfikacji ich właściwości,
- dobór materiałów konstrukcyjnych oraz metod ich obróbki pod kątem ograniczenia zużycia ściernego oraz możliwości zastosowania w maszynach roboczych,
- wykonanie badań metalograficznych, twardości oraz chropowatości powierzchni próbek,
- określenie i dobór powłoki nakładanej metodami cieplnymi na wybrane elementy maszyn pracujące w glebie,
- zaprojektowanie i wykonanie prototypowego stanowiska, w którym kontrolowane są poszczególne parametry masy ścierniej wpływające na całkowite zużycie oraz określenie wpływu poszczególnych, wybranych czynników na ilościowe zużycie ściernie badanych elementów,
- analizę ubytku masy oraz grubości materiału po badaniach próbek w różnych warunkach glebowej masy ścierniej.

Cele pracy zostały sformułowane prawidłowo i zawierają aspekty naukowo-badawcze, a dodatkowo mają charakter użytkowy.

W rozdziale 4. została opisana metodyka badawcza pracy. Rozdział ten podzielono na 4 podrozdziały, w których zawarto schemat metodyki badawczej, opis procesu badawczego, uzasadnienie wyboru materiałów z uwzględnieniem doboru geometrii próbek oraz obróbek warstwy wierzchniej. Doktorant przewidział w zakresie pracy wykonanie dużej ilości badań: 5 gatunków stali, 3 rodzaje powierzchni i 4 typy ścierniwa. Następnie scharakteryzował procedury badawcze, tj. sposób przygotowania próbek, koncepcję stanowiska badawczego, metody badawcze, w których opisał badania tribologiczne i uzupełniające. Na podkreślenie zasługuje fakt zaprojektowania i stworzenie tribologicznego stanowiska badawczego

do badań tarciovo-zużyciowych przeznaczonego narzędzi rolniczych, mających kontakt z glebą.

Rozdział 5. zawiera wyniki badań eksperymentalnych: tribologicznych oraz badań właściwości mechanicznych. Składa się on z 2. podrozdziałów, w których doktorant przedstawił i dokonał analizy wyników badań tj. określił zużycie objętościowe i masowe próbek oraz przeprowadził analizę morfologii i struktury geometrycznej powierzchni próbek zarówno przed, jak i po testach tribologicznych. Zrealizowane badania tribologiczne stali trudnościeralnych i napoin wykonanych konwencjonalnie i laserowo obejmowały:

- testy tribologiczne z wykorzystaniem autorskiego stanowiska badawczego odwzorowującego pracę maszyn rolniczych,
- analizę właściwości mechanicznych: twardości oraz obserwacje mikrostruktur,
- pomiary chropowatości powierzchni próbek przed oraz po badaniach tribologicznych,
- obserwacje śladów wytarcia po testach tribologicznych,
- określenia zużycia przy użyciu technologii skaningu 3D.
- określenia zmian kształtu ziaren po badaniach tribologicznych w zależności od typu ścierniwa.

Rozdział 6. Składa się z 2. podrozdziałów, zawierających podsumowanie wraz z wnioskami oraz kierunku dalszych badań.

Pod względem formalnym rozprawa została opracowana poprawnie, a treści zawarte w poszczególnych rozdziałach rozmieszczone zostały zgodnie z postawionymi celami. Układ pracy jest prawidłowy i zgodny z zasadami twórczości naukowej. Podjęty w rozprawie temat jest ważny dla nauki w zakresie inżynierii mechanicznej, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych.

Recenzowana rozprawa posiada logiczną i spójną konstrukcję, typową dla prac naukowych. Mgr inż. Dawid Romek w rozprawie potwierdza znajomość literatury i problematyki przedmiotu. Wiedzę tę właściwie potrafił wykorzystać podczas realizacji badań własnych. Do najważniejszych osiągnięć doktoranta należy zaliczyć:

- **opracowanie i wykonanie stanowiska badawczego do badań tribologicznych symulującego pracę narzędzi rolniczych w obecności mieszanin ścierniwa na bazie gleby i wody,**
- **wyznaczenie zużycia objętościowego próbek po badaniach tarciovo-zużyciowych,**
- **wykazanie zwiększenia odporności na zużycie narzędzi rolniczych poprzez zastosowanie powłok napawanych,**

- **wykazanie wpływu parametrów charakteryzujących ścierniwo glebowe - zawartości procentowej wody i odczynu pH - na wielkość zużycia masowego i objętościowego,**
- **wykazanie zmiany geometrii - kształtu ziaren ścierniwa po testach tribologicznych w zależności od jego rodzaju.**

Praca ma istotne znaczenie teoretyczno-poznawcze oraz praktyczne. Doktorant zaplanował i przeprowadził plan badawczy, a postawione w pracy cele w pełni zrealizował. Przeprowadzone badania własne doktoranta zostały przeprowadzone w sposób kompleksowy, w oparciu o budowę autorskiego stanowiska badawczego oraz liczne eksperymenty. Sposób, zastosowane narzędzia badawcze oraz przeprowadzone analizy wyników badań uznaję za rzetelne i wiarygodne. Wskazuje to na nabycie przez mgra inż. Dawida Romka umiejętności samodzielnej realizacji pracy naukowej. Zastosowanie w procesie badawczym różnorodnych metod i narzędzi badawczych świadczy o dobrym warsztacie metodycznym doktoranta. Wykonał on pracę badawczą, wymagającą dużego doświadczenia i samodyscypliny przy jej realizacji.

Całość przeprowadzonych badań i analiz została opracowana poprawnie. Przedstawiona do recenzji praca doktorska jest wartościowym opracowaniem naukowym i zawiera wnioski badawcze, które mają znaczenie aplikacyjne. Rezultaty recenzowanej rozprawy doktorskiej stanowią oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego.

UWAGI, WĄTPLIWOŚCI

Uwagi ogólne:

- W pracy nie zestawiono wykazu oznaczeń i skrótów.
- W spisie literatury wielokrotnie brakuje podania przez autora numerów stron cytowanych artykułów.
- Wiele rysunków zawiera opisy w języku angielskim.
- Tabele 5.2 i 5.3 są mało czytelne.
- Zauważyłam także nieścisłości językowe i/lub błędy tzw. literowe, jak np.: zamiast implantacja jonowa w pracy jest implementacja
- Podczas prezentacji wyników pomiarów twardości należało podać rozkład wartości twardości w funkcji odległości od powierzchni czołowej próbki, a nie przedstawienie wartości średniej.
- Rysunki 5.8-5.12 wymagają dokładnego opisu i komentarza prezentowanych fotografii mikrostruktur stali oraz napoin konwencjonalnych i laserowej.

Pewne zagadnienia poruszane w rozprawie wymagają uszczegółowienia, dlatego też proszę aby podczas publicznej obrony Autor odniósł się do następujących kwestii:

- Jakie były przesłanki wybrania przez Pana takich właśnie napoin?

- Czy próbował Pan optymalizować procesy wykonania napoin? Jeśli tak, to w jaki sposób?
- Gdzie widzi Pan możliwość implementacji swojego stanowiska badawczego, w innych zastosowaniach niż maszyny rolnicze ?
- Czy rozpatrywał Pan zastosowanie innych napoin lub powłok np.: natryskiwanych nadźwiękowo na elementy robocze maszyn i urządzeń stosowanych w rolnictwie?
- W jaki sposób określał Pan wilgotność masy ścierniej?
- Dlaczego wybrał Pan wilgotność masy ścierniej 0% i 10%?
- Dlaczego wybrał Pan następujące parametry, charakteryzujące właściwości warstwy wierzchniej: Ra, Rz, Rt, Sa i Sz. Dlaczego, parametry 2D przeplatają się z parametrami 3D?

Przedstawione w niniejszej recenzji pytania mają charakter poznawczy i nie mają one wpływu na moją pozytywną ocenę recenzowanej rozprawy.

WNIOSEK KOŃCOWY

Opiniowana rozprawa doktorska posiada oryginalne cechy nowości, a także istotne walory użyteczne. Przedstawiona do recenzji dysertacja wpływa na stan istniejącej wiedzy zarówno pod względem: metodologicznym, metodycznym i poznawczym. Podsumowując moją ocenę stwierdzam, że rozprawa:

- jest oryginalnym przedstawionym przez Autora rozwiązaniem problemu naukowego,
- potwierdza jego ogólną wiedzę w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna,
- poprzez stworzenie autorskiego stanowiska badawczego oraz zrealizowane badania własne, stanowi wkład w rozwój badań nad eksploatacją elementów roboczych maszyn i urządzeń.

Po zapoznaniu się z pracą mgra inż. Dawida Romka pt. „Kształtowanie odporności na zużycie ściernie powłok nakładanych cieplnie” stwierdzam, że **spełnia ona wymagania stawiane przez stosowne ustawy (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r., tekst ujednolicony z dnia 29 września 2014 r. wraz z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r., a także Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce). Dlatego stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgra inż. Dawida Romka do publicznej obrony.**

Kielce, 25 sierpnia 2023 roku

