

Kielce, dnia 23 września 2022 r.

dr hab. inż. Monika Madej, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza GAWŁOWSKIEGO
pt. *Modelowanie wpływu dziedziczności technologicznej na właściwości*
powierzchni wybranego stopu tytanu

Promotor pracy: **dr hab. inż. Magdalena NIEMCZEWSKA-WÓJCIK, prof. PK**

Promotor pomocniczy pracy: **dr inż. Anna BORATYŃSKA-SALA**

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej
prof. dr hab. inż. Jerzego A. Sładka nr M.00-520-58/2022 z dnia 22 czerwca 2022 roku.

1. UZASADNIENIE PODJĘTEGO PROBLEMU

Właściwości użytkowe materiałów stosowanych na elementy maszyn i urządzeń współpracujących tarciovo w znacznym stopniu zależą od stanu powierzchni. Dotyczy to zarówno powierzchni uzyskanej w procesie wytwarzania - technologicznej warstwy wierzchniej (TWW) oraz tworzącej się na roboczych powierzchniach par trących eksploatacyjnej warstwy wierzchniej (EWW). Powierzchnia elementów ślizgowych, a zwłaszcza jej struktura geometryczna, w znaczący sposób wpływa na właściwości funkcjonalne elementów systemu tribologicznego. Wytworzenie odpowiedniej struktury powierzchni roboczej niewątpliwie wpływa na okres użytkowania węzłów tarcia w maszynach i urządzeniach.



Rozprawa pt.: „*Modelowanie wpływu dziedziczności technologicznej na właściwości powierzchni wybranego stopu tytanu*” dotyczy oceny powierzchni technologicznej i eksploatacyjnej warstwy wierzchniej oraz modelowania wpływu dziedziczności technologicznej na właściwości funkcjonalne stopu tytanu Ti - 6,5Al - 1,35Si - 2Zr poprzez zastosowanie sekwencyjnej obróbki wykończeniowej. Podjęta w rozprawie tematyka badawcza wpisuje się w aktualne trendy naukowe. Zaprezentowane w pracy modelowanie dziedziczności technologicznej jest wartościowe i ciekawe, dając możliwość wykorzystania wyników w rozwiązaniach aplikacyjnych w celu racjonalnego doboru warunków procesu obróbki i kształtowania właściwości powierzchni warstwy wierzchniej. Przedstawiona do oceny rozprawa wypełnia lukę wiedzy dotyczącą dziedziczności technologicznej oraz powiązania charakterystyk struktury powierzchni z właściwościami funkcjonalnymi wybranego stopu tytanu.

Biorąc pod uwagę znaczenie i potencjalny zakres problematyki podjętej w pracy przez mgr inż. Grzegorza Gawłowskiego, uważam sformułowanie tematu pracy doktorskiej za bardzo trafny i w pełni uzasadniony. Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr inż. Grzegorza Gawłowskiego w dyscyplinie naukowej *inżynieria mechaniczna* i dotyczy wpływu dziedziczności technologicznej na właściwości wybranego stopu tytanu poddanego procesom: szlifowania, matowienia, docierania oraz testom tribologicznym.

2. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY – OCENA FORMALNA I MERYTORYCZNA

Tematyka pracy ukierunkowana jest na problematykę z zakresu kształtowania technologicznej i eksploatacyjnej warstwy wierzchniej. Doktorant wskazał również rolę dziedziczności technologicznej w aspekcie rzeczywistych problemów występujących w procesie technologicznego kształtowania powierzchni warstwy wierzchniej oraz jej wpływu na trwałość i niezawodność podczas eksploatacji. Dla wybranego stopu tytanu przeprowadzono obróbkę szlifowania, matowienia i docierania oraz określano ich wpływ na ukształtowanie powierzchni warstwy wierzchniej. Ocenę funkcjonowania systemów tribologicznych przeprowadzono na układach modelowych. Tematyka niniejszej rozprawy ma być nowoczesna, aktualna, przydatna oraz ma charakter wielowątkowy, nawiązując do różnych zagadnień m.in. z zakresu inżynierii materiałowej, technologii, metrologii powierzchni, tribologii.

Tytuł recenzowanej rozprawy „*Modelowanie wpływu dziedziczności technologicznej na właściwości powierzchni wybranego stopu tytanu*” w pełni koresponduje z treścią zawartą w pracy.

Rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Gawłowskiego przedstawiona jest na 159 stronach i zawiera różnorodny materiał w postaci 55 tabel, 52 rysunków, fotografii oraz wykresów. Do pracy dołączono także 3 załączniki – 26 stron. Praca poprzedzona jest wprowadzeniem, następnie zawiera 3 rozdziały merytoryczne – 15 podrozdziałów, spis

cytowanej bibliografii, w której zamieszczono 226 pozycji literaturowych, w tym 3 publikacje z udziałem Doktoranta. Praca napisana jest w układzie klasycznym, tzn. została podzielona na dwie zasadnicze części: teoretyczną oraz doświadczalną. Obie części obejmują po 7 podrozdziałów.

W części teoretycznej dokonano analizy literatury z zakresu pracy i zakończono podsumowaniem rozdziału. Na podstawie analizy przedmiotowej literatury, Doktorant usystematyzował informacje dotyczące charakterystyki, funkcjonalności oraz technologii obróbki tytanu i jego stopów. Opisał właściwości powierzchni warstwy wierzchniej zarówno ukształtowanej w procesie technologicznym, jak i modyfikowanej podczas eksploatacji. Podkreślił istotne znaczenie dziedziczności technologicznej w analizie przebiegu procesu technologicznego oraz wskazał na możliwość sterowania parametrami obróbki dla zapewnienia pożądanej jakości oraz funkcjonalności wyrobów. Część związana z wprowadzeniem literaturowym stanowi ok. 30 % tekstu, resztę stanowią rozdziały związane z badaniami własnymi Doktoranta.

Po części teoretycznej zostały przedstawione hipoteza i cele pracy.

W części eksperymentalnej zawarto program i opis zrealizowanych badań wraz z analizą i dyskusją wyników. Przedstawione przez Doktoranta wyniki badań potwierdziły postawioną hipotezę badawczą: „Modelowe ujęcie dziedziczności technologicznej po kolejnych sekwencjach obróbki wykończeniowej stopu tytanu Ti-6,5Al-1,3Si-2Zr jest podstawą racjonalnego doboru warunków procesu obróbki i kształtowania właściwości powierzchni warstwy wierzchniej”. Przeprowadzone kompleksowo analizy, poprzez wskaźniki parametryczne i nieparametryczne, procesów zachodzących w warstwie wierzchniej badanego stopu tytanu po obróbkach szlifowania, matowienia, docierania oraz po eksploatacji, omówione w rozprawie są niewątpliwym atutem. Przedstawione zależności pomiędzy sekwencjami obróbki a otrzymaną strukturą geometryczną powierzchni stopu tytanu mogą być stosowane przy wytwarzaniu elementów dla medycyny, dla których struktura powierzchni warstwy wierzchniej wpływa na właściwości eksploatacyjne. Właściwości warstwy wierzchniej ukształtowane w procesie technologicznym są kluczowe dla procesu eksploatacyjnego i mają wpływ na trwałość eksploatacyjną systemów tribologicznych oraz ich niezawodność.

Atutem pracy jest prowadzenie przez Doktoranta badań nad wpływem dziedziczności technologicznej biomateriałów po obróbce technologicznej oraz po eksploatacji. Mgr inż. Grzegorz Gawłowski wskazał w literaturze przedmiotu na luki dotyczące właściwości funkcjonalnych stopów tytanu oraz brak kompleksowej (nieparametrycznej – jakościowej oraz parametrycznej – ilościowej) charakterystyki struktury geometrycznej powierzchni warstwy wierzchniej. Jako rezultat przeprowadzonych badań, za wartościowe należy uznać opracowanie modelu dziedziczności technologicznej. Nie mniej ważnym aspektem jest wskazanie tego modelu jako narzędzia wsparcia przy projektowaniu i modyfikowaniu procesów technologicznych, mających na celu kształtowanie warstwy wierzchniej. Pozwala to

na spójną ocenę pod tym kątem nie tylko stopu tytanu Ti - 6,5Al - 1,35Si - 2Zr, ale także dowolnego materiału.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta, uzyskanych w trakcie realizacji badań oraz analiz, składających się na recenzowaną rozprawę, należy zaliczyć:

- określenie wpływu kolejnych sekwencji procesu technologicznego stopu tytanu Ti-6,5Al-1,3Si-2Zr na zmiany ukształtowania powierzchni warstwy wierzchniej badanego stopu,
- przeprowadzenie analizy statystycznej parametrów charakteryzujących ukształtowanie powierzchni warstwy wierzchniej, uzyskanej w procesach technologicznych i w procesie eksploatacji podczas tarcia.
- określenie i opisanie procesu dziedziczności technologicznej w oparciu o korelacje parametrów oraz zdefiniowanie miernika dziedziczności technologicznej,
- wskazanie, że model dziedziczności technologicznej umożliwia racjonalny dobór warunków procesu obróbki i kształtowanie właściwości powierzchni warstwy wierzchniej,
- aplikacyjność zaproponowanego modelu dziedziczności technologicznej wybranego stopu tytanu Ti - 6,5Al - 1,35Si - 2Zr i wskazanie na możliwość wykorzystania go również dla innych materiałów.

Ponadto, w pracy zamieszczono spis treści oraz spis ważniejszych skrótów i oznaczeń. Objętość rozprawy jest uzasadniona i wynika z potrzeby opisu rozważań teoretycznych oraz przeprowadzonych eksperymentów i analiz. Rysunki oraz tabele zamieszczone w pracy wykonane są starannie i przejrzysto. Pod względem formalnym rozprawa została opracowana poprawnie, jej struktura odpowiada przyjętym zasadom, a treść poszczególnych rozdziałów rozmieszczona zgodnie z postawionymi celami. Układ pracy jest przejrzysty i konsekwentny, zgodny z zasadami twórczości naukowej. Rozprawa napisana jest bardzo dobrym i dojrzałym językiem naukowym. Czytanie pracy napisanej poprawną polszczyzną było przyjemnością. Na szczególną uwagę zasługuje brak poważnych błędów składniowych. Na podkreślenie zasługuje konsekwentna realizacja zaplanowanych badań, co wymagało od Doktoranta dużego zaangażowania, dobrej organizacji pracy oraz umiejętności analitycznych.

Wykaz literatury obejmuje najnowsze badania i stan wiedzy związany z tematem pracy. Znaczną część cytowanych pozycji literaturowych stanowią publikacje wydane po roku 2000. Wybór literatury jest trafny i wyczerpujący, obejmuje prace stanowiące klasykę oraz publikacje opublikowane w bieżącym roku. Praca zakończona jest streszczeniem w języku polskim, angielskim i rosyjskim.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano metody badawcze oraz dokonano analizy wyników na wysokim poziomie

merytorycznym. Na podstawie sformułowań zawartych w pracy zakładam, że Autor w perspektywie przewiduje prowadzenie dalszych badań. Doktorant wykonał pracę badawczą z zakresu wielowarstwowej tematyki wymagającej doświadczenia i wykazał się samodyscypliną przy jej realizacji.

3. UWAGI I WĄTPLIWOŚCI

Podczas zapoznawania się z treścią rozprawy zrodziły się pewne wątpliwości. Dlatego proszę o ustosunkowanie się do następujących pytań:

- Na s. 21 zostało napisane: „Duża wytrzymałość, duża odporność na zużycie i korozję, moduł Younga zbliżony do modułu Younga kości ludzkiej, posiadanie aktywnej warstwy tlenków w swojej powierzchni **tworzącej tzw. biofilm**, niska gęstość to cechy, dzięki którym zainteresowanie stopami tytanu w różnych gałęziach przemysłu jest bardzo duże”. Proszę o zdefiniowanie biofilmu.
- Badaniami objęto trzy etapy/sekwencje obróbki wykończeniowej (szlifowanie, matowienie i docieranie). Proszę uzasadnić wybór tego typu etapów/sekwencji obróbki.
- Jaki jest sens podawania wartości współczynnika tarcia w Tabeli 17 s.71 z dokładnością do 4 miejsc po przecinku?
- Wartości współczynników tarcia oraz intensywności zużywania są większe w wyniku zastosowania procesu docierania 2 - DOC2 niż docierania 1 i 3 – DOC1 oraz DOC3? Jak Pan to wytłumaczy?

Podczas recenzji rozprawy zauważyłam niewielkie uchybienia redakcyjne typu braku lub nadmiernej ilości liter, bądź braku podania roku publikacji w spisie literatury. Są to jednak pojedyncze przypadki, które nie mają wpływu na wartość merytoryczną pracy.

Mimo powyższych wątpliwości rozprawę oceniam bardzo dobrze w aspekcie poznawczym, metodologicznym i użytecznym. **Dysertacja dotyczy aktualnej wiedzy i wnosi nowe treści o znaczących walorach naukowych i aplikacyjnych.**

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Podjęty przez Doktoranta temat jest ważny dla nauki w zakresie technologii i eksploatacji materiałów inżynierskich, w tym biomateriałów. Recenzowana rozprawa posiada logiczną konstrukcję, typową dla prac naukowych bazujących na eksperymencie. Mgr inż. Grzegorz Gawłowski w rozprawie potwierdza znajomość literatury przedmiotu oraz problematyki dotyczącej technologii, eksploatacji, modelowania, kształtowania właściwości warstw wierzchnich oraz dziedziczności technologicznej. Ten obszar wiedzy nadal wymaga dalszych wnikliwych badań i poszukiwania związków przyczynowo-skutkowych między stosowanymi technikami kształtowania właściwości warstw wierzchnich a stanem powierzchni i jej funkcjonalnością. Dzięki wykonanym eksperymentom Doktorant wykazał się znajomością

różnorodnych technik badawczych. Doktorant zaplanował i przeprowadził plan badawczy, a postawione w pracy cele zrealizował, uzyskując rezultaty mające znaczenie aplikacyjne. Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Gawłowskiego potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna* oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zawarty w rozprawie materiał badawczy jest oryginalnym dorobkiem Doktoranta – ma on walory poznawcze, metodologiczne i aplikacyjne.

Po zapoznaniu się z pracą mgr inż. Grzegorza Gawłowskiego pt. *„Modelowanie wpływu dziedziczności technologicznej na właściwości powierzchni wybranego stopu tytanu”* uważam, że spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy ((Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789); rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 poz. 261); ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668)). Dlatego stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr inż. Grzegorza Gawłowskiego do publicznej obrony. Jednocześnie, biorąc pod uwagę walory naukowe i użyteczne recenzowanej rozprawy oraz wkład pracy, wnioskuję do Komisji Doktorskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Małke Mady