

Warszawa, 30.06.2022r.

dr hab. inż. Dawid Mysza, prof. PW
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Warszawska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

Pana mgra inż. Marcina Kargula

pt. „Analiza porównawcza właściwości eksploatacyjnych spiekanych kompozytów
o osnowie miedzi”

przedstawionej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna

wykonanej pod opieką promotora

Pana dr hab. inż. Marka Koniecznego, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

wykonanej pod opieką promotora pomocniczego

Pani dr hab. inż. Joanny Borowieckiej-Jamrozek, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

Podstawa opracowania recenzji

Opinię opracowano na zlecenie Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 31.03.2022r. (sygnatura: MMA-510/55/2022).

1. Ocena tematyki rozprawy

Wytwarzanie kompozytów jest dziś niezmiernie ważnym kierunkiem poznawania i rozwoju nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych. Rozwijająca się prężnie technika inżynierska, a także rosnące potrzeby i wymagania przemysłu wymuszają tworzenie nowych materiałów, ale również nowych sposobów ich wytwarzania np. wytwarzania kompozytów metodami druku 3D. Dzięki temu w ciągu ostatnich dziesięcioleci opracowane zostały liczne nowe stopy metali, tworzywa sztuczne, ceramika i kompozyty. Materiały te często powinny

charakteryzować się możliwościami obniżania kosztów produkcji podczas wytwarzania, a ich właściwości powinny być zwykle lepsze w porównaniu do tych tradycyjnych.

W pracy skoncentrowano się na opracowaniu nowych rodzajów kompozytów na bazie miedzi oraz porównaniu ich właściwości z innymi kompozytami typu miedź – umocnienie. Przedstawione rozwiązanie oparte jest na założeniu, że cząsteczki umacniające będą powodować mniejsze zużycie ściernie oraz odpowiednią, „właściwą” przewodność elektryczną. W pracy zaproponowano rozwiązanie wprowadzania do miedzi cząstek stali węglowej lub szybko tnącej. Takie rozwiązanie powinno zapewnić podwyższenie właściwości mechanicznych z zachowaniem wysokiej przewodności elektrycznej. Prezentację nowych kompozytów zrealizowano poprzez ich wytworzenie i badania oraz porównanie do innych, stworzonych w ramach badań własnych, kompozytów na bazie miedzi, umocnionych cząstkami ceramicznymi: SiO_2 , Al_2O_3 oraz cząstkami faz międzymetalicznych Cu-Ti, a także naturalnym zeolitem. Porównanie cech materiałowych kilku materiałów określonych w wyniku poddawania ich testom o identycznej charakterystyce jest najbardziej miarodajnym sposobem weryfikacji właściwości. Przeprowadzenie takiej oceny umożliwiło wskazanie, że kompozyty umocnione cząsteczkami stali szybko tnącej HS 12-1-4-5 mają wystarczającą przewodność elektryczną oraz odpowiednią odporność na zużycie ściernie do zastosowania na styki elektryczne oraz wykazują się cechami konkurencyjnymi do innych rodzajów kompozytów. Jest to niewątpliwie jednym z podstawowych osiągnięć pracy. Analiza porównawcza przeprowadzona w pracy wskazała na podobne właściwości kompozytów umacnianych cząsteczkami faz międzymetalicznych miedziowo-tytanowych, które pojawiają się w najnowszych, światowych badaniach.

Na podstawie powyższego stwierdzam, że praca wpisuje się w najnowsze trendy naukowe, a podjęcie tej tematyki oceniam jako ciekawe i wartościowe uwzględniając również możliwość zastosowania jej wyników w określonym rozwiązaniu aplikacyjnym np. na styki elektryczne. Stwierdzam, że praca wpisuje się w obszar dyscypliny inżynieria mechaniczna.

2. Zawartość rozprawy

Praca składa się z 9 rozdziałów i napisana na 162 numerowanych stronach w typowym dla prac doktorskich układzie z podziałem na dwie główne części tj. literaturową i badawczą. Część literaturową kończy rozdział 3 pt.: „wnioski z przeglądu literatury”, który podsumowuje wcześniej przedstawione zagadnienia oraz naturalnie przechodzi w kolejny

rozdział 4 pt.: „cel, teza i program pracy”, gdzie sformułowano cele i tezy rozprawy. W „podsumowaniu” poprzedzającym „wnioski” zawarte są wskazania związane z przyszłymi pracami zaplanowanymi do realizacji przez Doktoranta. Nie jest to typowe dla prac doktorskich jednak pozytywnie odnoszę się do tej pisemnie wyrażonej perspektywy. Pracę kończy spis literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Praca jest opracowaniem, w którym przegląd literatury stanowi około 45% całości, co wskazuje na nie tak obszerną część badawczą w porównaniu do innych prac doktorskich. Układ pracy i wspomniane proporcje, uwzględniając charakter prezentowanego zagadnienia, uważam jednak za właściwe. Przedstawiona na 72 stronie analiza literatury jest przeprowadzona rzetelnie z uwzględnieniem zaskakujących, nieprecyzyjnych i niepotrzebnych czasem, zdaniem recenzenta, odniesień np. do starożytnej metalurgii żelaza. Choć z punktu widzenia inspiracji czytelnika może to być ciekawy, popularnonaukowy fragment. Przedstawia w kolejnych rozdziałach zagadnienia związane z otrzymywaniem elementów spiekanych, proszków metali oraz w głównej mierze – kompozytów z osnową metalową. Temu ostatniemu zagadnieniu poświęcono więcej niż połowę części literaturowej przedstawiając od strony materiałoznawczej sposoby umacniania kompozytów o różnym rodzaju i morfologii składników. Najwięcej miejsca poświęcono kompozytom na osnowie miedzi, co jest logiczne dla stworzenia tła dla nowatorskich badań zrealizowanych w ramach pracy.

Część badawcza obejmuje wytwarzanie i badania kilku rodzajów kompozytów na osnowie miedzi. Do analizy Doktorant wziął pod uwagę takie cechy jak mikrostrukturę, twardość, gęstość, przewodność elektryczną oraz odporność na zużycie ściernie. Stwierdzam, że we wszystkich przypadkach wybrano i zastosowano właściwe narzędzia badawcze, a przeprowadzone analizy wskazują na dobrze zaplanowany eksperyment. Pozostawia jednak niedosyt, biorąc pod uwagę motyw aplikacji wyników do zastosowania na styki elektryczne, nie odniesienie się w przypadku badań tribologicznych (około 19% całej pracy) do czystej miedzi jako materiału referencyjnego.

Doktorant zawarł w Bibliografii 160 pozycji literatury, z których około 50% to pozycje z ostatnich 10 lat. Stwierdzam, że odniesienia te mogłyby mieć szerszy charakter, obejmujący najnowocześniejsze osiągnięcia w obszarze wytwarzania kompozytów lub elementów ze stopów miedzi na bazie wydruków 3D.

3. Ocena stosowanej metodologii, opisu badań własnych oraz dyskusji wyników

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Marcina Kargula stanowi moim zdaniem osiągnięcie naukowe i posiada szereg istotnych cech, do których odniosę się w tej części recenzji.

Na uznanie zasługuje obszerność i kompleksowość opracowania w zakresie stanu zagadnienia. Doktorant w szczegółowy sposób przedstawił tematykę: wytwarzania spieków, proszków metali oraz kompozytów, co jest ciekawym i pełnym opracowaniem zwłaszcza w zakresie materiałów na bazie miedzi. Zaplanowana metodologia zakładała, że porównane ze sobą spektrum materiałów kompozytowych umożliwi określenie ich unikalnych cech materiałowych wynikających z określonych warunków wytwarzania. Trzeba przyznać, że w tym zakresie dość prosty wybór tych samych parametrów wytwarzania dla wszystkich materiałów mógł być interesujący dla porównywania materiałów, ale nie optymalny dla każdego z nich pod względem określania danej cechy materiałowej. A przecież każdy z nich takie cechy indywidualne posiada. Podejście Autora wydaje się jednak słuszne w kontekście uzyskanych wyników oraz potwierdzenia badań zawartych w publikowanej literaturze zagranicznej. Są one wartościowym naukowo określeniem właściwości kilku kompozytów na bazie miedzi ze wskazaniem na nowatorskość rozwiązania w zakresie wytwarzania i cech kompozytów zawierających umacniające cząstki stali. Taki materiał, zawierający stal szybko tnącą, wykazywał przewodność elektryczną na poziomie 24-40 MS/m oraz odporność na zużycie ścierną lepszą od klasycznych kompozytów miedź-SiO₂ lub miedź-Al₂O₃. Wyniki te, moim zdaniem w wystarczający sposób wskazują na możliwość wykorzystania aplikacyjnego nowego materiału na szczotki silników elektrycznych. Wskazane pod koniec pracy przyszłe badania na rzeczywistych wyrobach należy zrealizować i potwierdzić ostatecznie wyniki badań.

Lektura części badawczej pracy, a zwłaszcza części odnoszących się do oceny przewodności elektrycznej i odporności na zużycie ścierną oraz ostateczne wnioski pracy pozwalają mi stwierdzić, że postawione cele zostały osiągnięte, a teza w podstawowym stopniu udowodniona. Podsumowując stwierdzam, że praca jest wartościowym opracowaniem zarówno pod względem stosowanej metodologii oraz realizacji badań własnych.

4. Strona edycyjna pracy oraz poprawność językowa i stylistyczna

Praca napisana jest dobrym technicznie językiem polskim i w całości przedstawia Autora jako utalentowanego pisarstwo inżyniera. W tekście rozprawy występują usterki o różnym charakterze: terminologicznym i stylistycznym oraz dotyczącym układu logicznego pracy, jednak nie umniejszają one wartości pracy. Kilka przykładów przedstawiłem poniżej:

1. Nieliczne błędy stylistyczne: np. „dla którego zaobserwowaną znaczne podwyższenie...” na stronie 149.
2. Doktorant wymienia w Tabeli 1 szereg ważnych zdarzeń w historii, które nie są uwzględnione jako specyficzne „kamienie milowe” cywilizacji. A z drugiej strony, te ujęte w tabeli, zapisane są groteskowo np. spiekanie różnych metali (Europa).
3. Co oznacza sformułowanie: „cząstki posiadają wysokie właściwości ściernie” na stronie 149.
4. Brak dyskusji wyników odporności na zużycie ściernie, które znajduje się dopiero w rozdziale „podsumowanie”.

3. Uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym do dyskusji

Praca doktorska mgr inż. Marcina Karguła posiada niewątpliwie ważne walory poznawcze i użyteczne oraz stanowi wartościowy wkład w obszar inżynierii mechanicznej. Lektura rozprawy ujawnia zdaniem recenzenta dość dużo drobnych i kilka znaczących jej mankamentów oraz prowokuje pytania dyskusyjne, wymienione i omówione poniżej, na które oczekuję odpowiedzi Doktoranta:

1. Co oznacza stwierdzenie w tezie pracy „zadowalająca odporność elektryczna”?
2. Brak uzasadnienia dla typu wybranych kompozytów na osnowie miedzi nie pozwala stwierdzić, czy taki wybór został przeprowadzony poprawnie.
3. W pracy nie ma informacji o sposobach przygotowania proszków wybranych do badań. Nie ma również opisanej jednej z ważnych metod uzyskiwania proszków tj. poprzez rozpylanie metalu ze stanu ciekłego z wykorzystaniem ultradźwięków tzw. atomizacja.
4. Niejednorodna wielkość i kształt cząstek umacniających powoduje, że analiza porównawcza właściwości kompozytów, bazująca jedynie na udziale objętościowym składników, może być obarczona znacznymi błędami.

5. Ciekawym byłoby pokazanie udziału porowatości w strukturze kompozytów. Wartości te mogłyby korespondować z gęstością materiału mierzoną za pomocą wagi hydrostatycznej.
6. Nie ma w pracy wyjaśnienia dla wyników z pomiarów przewodności elektrycznej poszczególnych kompozytów oraz rozpoznania zjawisk, które prowadzą do takich, a nie innych wartości. Całość podsumowania pomiarów Autor sprowadza do jednego wniosku, że „wraz ze wzrostem zawartości cząstek przewodność elektryczna ulega obniżeniu” oraz wskazuje, że najgorsze wyniki uzyskano dla kompozytu umacnianego cząstkami stali węglowej z powodu „znacznej porowatości”. Takie uzasadnienie jest powierzchowne i koniecznie wymagające uzasadnienia.
7. Czemu wybrana została metoda „ball on disc” do badania materiału na zużycie ścierne?
8. Zużycie ścierne poszczególnych kompozytów porównywane jest ze sobą, nie ma jednak odniesienia do zużycia czystej miedzi. Dlaczego?
9. Dlaczego w pracy nie ma odniesienia do badań materiałów, z których wykonuje się szcztoki elektryczne np. miedzi z dodatkiem grafitu?
10. Brak dyskusji przyczyn zachodzących zjawisk np. dlaczego kształt cząstek wpływa na zwiększenie lub obniżenie odporności na zużycie badanych kompozytów.
11. W jaki sposób określana była wytrzymałość materiałów kompozytowych w pracy? Moim zdaniem nieuzasadnione jest w pełni twierdzenie zapisane we wnioskach, że „poprzez wprowadzenie odpowiednio dobranych cząstek umacniających ... znacząco poprawiły się własności wytrzymałościowe kompozytów o osnowie miedzi”
12. Nie ma wyjaśnienia w jaki sposób współczynnik tarcia jest związany ze zużyciem ściernym badanych kompozytów.

4. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy

Praca doktorska przedstawiona do recenzji, pomimo dość licznych uwag krytycznych i braków w zawartości merytorycznej, jest wartościowym opracowaniem naukowym i zawiera moim zdaniem ważne wnioski badawcze, które mają znaczenie dla zastosowań aplikacyjnych. Ponad to rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano podstawowe i zaawansowane metody badawcze oraz przeprowadzono analizy na przyzwoitym poziomie merytorycznym. Praca niestety nie jest przykładem pracy, w której rozwiązanie złożonego problemu naukowego jest powiązane z pomyślnym zastosowaniem przemysłowym, co znacząco podniosłoby jej wartość. Wskazuje na potencjalne możliwe

rozwiązania jednak nie poddaje ich weryfikacji ani doświadczalnej, ani analitycznej. Przedstawione uwagi krytyczne nie obniżają jednak wartości pracy na tyle mocno, aby nie ocenić jej pozytywnie. Moim zdaniem spełnia ona dostatecznie wymagania związane z kryteriami stawianymi przed pracami doktorskimi.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również fakt, iż doktorant wykazał należyłą wiedzę teoretyczną z zakresu reprezentowanej przez siebie dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Kargula pt. „Analiza porównawcza właściwości eksploatacyjnych spiekanych kompozytów o osnowie miedzi” spełnia wymagania stawiane przez Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z dnia 30 stycznia 2018r. poz. 261) oraz Ustawę z dnia 18 marca 2011r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw, wobec czego wnioskuję o Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

