

Prof. dr hab. inż. Tomasz Węgrzyn
Katedra Ruchu Drogowego
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice
e-mail: Tomasz.Wegrzyn@polsl.pl

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Górnik
nt.

„Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na
mechaniczne i funkcjonalne własności warstw napawanych”

1. Podstawa opracowania

Podstawę formalną opracowania niniejszej recenzji stanowią:

- Pismo przewodnie W10/RDN07/168/2025 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego,
- Uchwała nr 215/12/RDN072024-2028 Rady Naukowej Inżynieria Mechaniczna z dnia 7 października 2025 w sprawie powołania recenzentów w postępowaniu mgr inż. Moniki Górnik,
- ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz.U. z 2024 poz. 1571 z późn. zm. z późn. zm.).

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na mechaniczne i funkcjonalne własności warstw napawanych” autorstwa mgr inż. Moniki Górnik zrealizowana w ramach dyscypliny inżynieria mechaniczna.

2. Tytuł rozprawy doktorskiej - aktualność podjętego tematu

Tematyka powłok ochronnych nanoszonych metodą proszkowego napawania plazmowego PPTAW (ang. Powder Plasma Transferred Arc Welding) jest bardzo aktualna zarówno z perspektywy badań naukowych, jak i zastosowań przemysłowych. Proces ten jest używany do nanoszenia powłok na elementy zużywające się głównie ze względu na zużycie ścierne, erozyjne i korozyjne. Proszkowe napawanie plazmowe PPTAW polega na

wykorzystaniu łuku plazmowego do stopienia proszku metalicznego lub ceramicznego i naniesieniu go na podłoże. W przemyśle technologia napawania jest stosowana do budowy i regeneracji elementów maszyn i różnych konstrukcji. Obserwuje się nowe rozwiązania materiałowo-technologiczne związane z poprawą wydajności procesu i z opracowywaniem nowych proszków metalicznych i ceramicznych. Najbardziej powszechne są proszki na bazie kobaltu (przykładowo Stellite), proszki na bazie niklu (zwłaszcza Colmonoy i Inconel), proszki na bazie żelaza (przykładowo HEA - High Entropy Alloys). Wszystkie te grupy proszków metalicznych mogą być modyfikowane dodatkami proszków ceramicznych, zwłaszcza węglików, azotków, borków). Autorka dysertacji analizowała materiały proszkowe pod kątem jakości otrzymywanych z nich powłok. W tym celu przebadła otrzymane powłoki z proszku na bazie niklu zawierającego Cr, Cu i Mo z powłokami otrzymanymi z proszków: NiCrBSi, NiCrBSi z dodatkiem 35% WC oraz z proszku austenicznego 316 L. Doktorantka wykonała liczne, dobrze zaplanowane i bardzo dokładne badania dotyczące oceny własności użytkowych wszystkich otrzymanych napoin, co pozwoliło na uzyskanie dużej bazy danych do interpretacji stanu zagadnienia. Każda próba prowadząca do analizy struktury i właściwości napawanych metali stosowanych w budowie maszyn i na konstrukcje jest zasadna, a tematyka badań jest aktualna. Podjęcie przez Autorkę badań nad efektami wpływu różnych proszków w procesie proszkowego napawania plazmowego PPTAW na własności warstw wierzchnich jest w pełni uzasadnione. Tematykę rozprawy i jej zakres należy ocenić jako niezwykle aktualne. Podjęty w rozprawie temat jest istotny i wnosi znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

3. Charakterystyka i ocena rozprawy - ocena metodyczna (ocena układu rozprawy doktorskiej, ocena zastosowanego piśmiennictwa)

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Monika Górnik podjęła próbę oceny różnych materiałów powłokowych w procesie proszkowego napawania plazmowego PPTAW. Przewód doktorski jest realizowany w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Układ rozprawy doktorskiej jest prawidłowy. Rozprawa podzielona jest na 16 rozdziałów, całość liczy 117 stron, zawiera spis literatury obejmujący 180 pozycji publikacyjnych. Przegląd piśmiennictwa jest wykonany bardzo starannie. Cytowane pozycje literaturowe są aktualne. Większość pozycji literaturowych stanowią najnowsze publikacje międzynarodowe, w tym artykuły Autorki dysertacji. W rozprawie można zauważyć racjonalne zaplanowanie eksperymentu i prawidłowy dobór metod badawczych. Doktorantka przedstawiła sposób przygotowania próbek i metodykę badań zgodną z aktualnymi normami. Szczegółowo zaprezentowano wykorzystaną w prowadzonych eksperymentach aparaturę badawczą. Dla każdej z rozważanych w pracy powłok zostały szczegółowo przedstawione i precyzyjnie zinterpretowane uzyskane przez Autorkę wyniki badań. Należy docenić staranne i dokładne opracowanie uzyskanych wyników badań.

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska dotyczy technologii napawania plazmowego z zastosowaniem materiału dodatkowego w postaci czterech różnych badanych proszków, które są stosowane do uzyskania warstw chroniących niestopowe stalowe podłoże przed zużyciem ściernym, korozją elektrochemiczną oraz erozją kawitacyjną. Badano trzy proszki na bazie niklu: NiCrBSi, NiCrBSi + 35% wag. WC, proszek NiCrCuMo i proszek austenityczny 316L. Wyniki oceny jakości powłok można traktować jako wypełnienie zidentyfikowanej luki badawczej. Układ rozprawy doktorskiej jest prawidłowy. W części teoretycznej Autorka właściwie przeprowadziła przegląd literatury. Na tej podstawie zaproponowała tezę pracy, która zakłada, że *„Zastosowanie napoin na bazie materiału NiCrCuMo pozwala zapewnić długotrwałą ochronę podłoża w środowisku sprzyjającym wystąpieniu korozji o charakterze elektrochemicznym, gwarantując równoczesne spowolnienie powstawania uszkodzeń wywołanych ścierniem oraz erozją kawitacyjną. Materiał ten dzięki zawartości miedzi i molibdenu zachowuje charakter pasywny, bliski stali nierdzewnej. Sam dodatek stopowy miedzi znacząco wpływa również na lepszą wytrzymałość materiału w porównaniu z osnową niklową bez jego domieszki”*. Autorka obroniła tezę pracy dobrze zaplanowanymi i zrealizowanymi badaniami, które podzielono na dwa etapy. W badaniach wstępnych wykonano napoiny pojedynczymi ścięgami w celu doboru parametrów do prawidłowego napawania. Zweryfikowano geometrię i kształt napoin pod kątem minimalizacji niezgodności spawalniczych. W badaniach zasadniczych wykonano warstwy napawane sprawdzonymi parametrami w celu przeprowadzenia testów z zakresu odporności na zużycie eksploatacyjne. Na uwagę zasługuje wiedza Doktorantki z wielu obszarów badawczych, zwłaszcza umiejętność prowadzenia badań pod mikroskopem świetlnym i skaningowym oraz ich poprawna interpretacja. Pracę wieńczy dokładne podsumowanie wszystkich badań i precyzyjnie sformułowane wnioski.

W rozdziale 1. pt. „Wprowadzenie” zawarto informacje dotyczące znaczenia i zastosowania inżynierii powierzchni.

W rozdziale 2. pt. „Charakterystyka warstwy wierzchniej materiałów inżynierskich” Autorka przedstawiła ważniejsze metody kształtowania warstwy wierzchniej. Doktorantka podaje jakie warstwa wierzchnia musi spełniać wymagania eksploatacyjne i technologiczne w zależności od funkcji rodzaju elementu maszyn lub konstrukcji, warunków pracy oraz środowiska działania.

W rozdziale 3. pt. „Metody ochrony powierzchni” Autorka szczegółowo przedstawia najważniejsze procesy kształtowania warstwy wierzchniej. Zwraca uwagę na metody nanoszenia warstw wierzchnich o wysokiej jakości. Przedstawia ważniejsze technologie spawalnicze nakładania powłok. Podkreśla znaczenie napawania plazmowego i proszkowego napawania plazmowego, którym zajmuje się w rozprawie.

W rozdziale 4. pt. „Charakterystyka i klasyfikacja zjawiska zużycia powierzchni i jego rodzaje” Autorka dokładnie opisuje zużycie tribologiczne i nietribologiczne powłok.

W rozdziale 5 pt. „Podsumowanie wstępu pracy i teza badawcza” zebrano najważniejsze informacje dotyczące inżynierii powierzchni. Przeanalizowano luki badawcze dotyczące opracowania nowych materiałów do wykorzystania w nanoszeniu powłok. Szczególną uwagę zwrócono na proszek NiCrCuMo, na temat którego brakuje wyczerpujących informacji w materiałach źródłowych. Na podstawie dokładnej analizy literatury Autorka postawiła tezę pracy.

W rozdziale 6. pt. „Cele i zakres pracy” Autorka przedstawiła cele poznawcze i użytkowe

W rozdziale 7. pt. „Program przeprowadzonych badań” został przedstawiony podział na dwa etapy i została szczegółowo opisana metodologia i zakres przeprowadzonych badań

W rozdziale 8. pt. „Przygotowanie i ocena materiałów powłokowych” opisano metody służące do charakteryzacji materiałów dodatkowych w postaci 4 różnych proszków do badań.

W rozdziale 9. pt. „Stanowisko eksperymentalne i wstępny dobór parametrów napawania” opisano stanowisko do przeprowadzenia prób związanych z pierwszym etapem pracy, w którym skupiono się przede wszystkim na ustaleniu parametrów procesu.

W rozdziale 10. pt. „Metodyka badań ściegów spawalniczych- I etap prac eksperymentalnych” opisano metody analizy pojedynczych ściegów przy zastosowaniu badań wizualnych i pomiarów twardości zglądów metalograficznych.

W rozdziale 11. pt. „Metodyka badań warstw napawanych- II etap prac eksperymentalnych” opisano metody analizy powłok wykonanych 4 badanymi proszkami ze szczególnym uwzględnieniem badania własności użytkowych.

W rozdziale 12. pt. „Charakterystyka materiałów powłokowych” przedstawiono wyniki badań dla materiałów proszkowych (morfologia, granulometria).

W rozdziale 13. pt. „Wyniki badań z I etapu prac eksperymentalnych” przedstawiono rezultaty badań z odniesieniem do dostępnej literatury. Na podstawie tych wyników wytypowano parametrów do drugiego etapu badawczego.

W rozdziale 14. pt. „Wyniki badań z II etapu prac eksperymentalnych” zestawiono wyniki badań mikroskopowych, składu fazowego i własności użytkowych (odporności na zużycie ścierne, erozję kawitacyjną i korozję elektrochemiczną).

W rozdziale 15. pt. „Wnioski i podsumowanie” obszernie i prawidłowo podsumowano część badawczą, która pozwoliła na potwierdzenie postawionej tezy.

W rozdziale 16. pt. „Kierunki dalszych badań” przedstawiono możliwość wykorzystania doświadczenia badawczego do prac na obiekcie rzeczywistym.

5. Uwagi krytyczne i redakcyjne

Koncepcja badań doświadczalnych została sformułowana przez Doktorantkę starannie i poprawnie. Realizację badań oceniam bardzo pozytywnie. Eksperymentalna część rozprawy jest przejrzysta i zawiera szereg wartościowych wyników i informacji. Doceniam trafnie przyjęty zakres metod badawczych oraz bardzo dużą ilość przeprowadzonych badań. Forma prezentowania wyników, profesjonalny sposób ich analizy oraz przedstawione wnioski świadczą o dojrzałości badawczej Doktorantki. Szata graficzna rozprawy jest dopracowana i świadczy o dużej wiedzy informatycznej Doktorantki. Badania pod mikroskopem świetlnym, skaningowym, interpretacja dyfraktogramów świadczą z kolei o posiadanej wiedzy z inżynierii materiałowej. W trakcie analizy rozprawy nasunęły mi się cztery uwagi o charakterze ogólnym i siedem uwag szczegółowych niemających wpływu na wysoką ocenę merytoryczną pracy.

Uwagi ogólne dotyczą uzupełnienia wybranych informacji zawartych w dysertacji i zostały przedstawione w formie pytań do Doktorantki:

1. Jak trawiono próbki do obserwacji pod mikroskopem świetlnym?
2. Jak przygotowywano próbki do obserwacji pod mikroskopem skaningowym?
3. W tekście rozprawy, na stronie 26 jest podany węgiel chromu „Cr₂C₃” (Wzór stechiometryczny węgla jest napisany bez indeksów dolnych). Istnieją inne węgliki chromu: Cr₂₃C₆, Cr₇C₃, Cr₃C₂. Proszę o komentarz.
4. Dobór proszku NiCrCuMo do badań jest jak najbardziej uzasadniony. Moim zdaniem o właściwościach proszku NiCrCuMo nie wspomniano wystarczająco obszernie przed zaproponowaniem tezy pracy, w której ten proszek odgrywa kluczową rolę.

Do uwag szczegółowych zaliczam:

1. Czy współczynnik zużycia K i współczynnik intensywności zużycia to jest to samo (str. 8 i str 9)? W rozdziale *abstract* (str.10) Autorka o tym współczynniku nie wspomina.
2. O jakim stopie cyrkonu Autorka pisze na stronie 14?
3. „Samo zużycie ślizgowe jest efektem ruchu dwóch poruszających się ciał o różnej prędkości względnej i/lub kierunkach” (str. 29). Nie sędzę, że zapis „i/lub” jest poprawny (koniunkcja/alternatywa).

4. Co Autorka rozumie przez materiał referencyjny (str. 43)?
5. Rysunek 14.5 jest nieczytelny.
6. W spisie literatury pozycje [29 i 64] nie są wyczerpująco przedstawione.
7. Zamiast określenia stal węglowa proponuję stal niestopowa zgodnie zobowiązującymi normami.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Górnik nt. „Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na mechaniczne i funkcjonalne własności warstw napawanych” jest bardzo interesującą dysertacją o aktualnej tematyce. Praca doktorska wpisuje się w dyscyplinę inżynieria mechaniczna Niepodważalnym walorem i oryginalnym osiągnięciem Doktorantki jest opracowanie sposobu oceny przydatności różnych gatunków proszków w procesie napawania plazmowego do zastosowań przemysłowych. Podjęty w rozprawie temat jest ważny i wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej.

Doktorantka wykazała się umiejętnością dobrego planowania i wykonywania badań oraz analizy merytorycznej uzyskanych wyników. Autorka osiągnęła cel postawiony w pracy, dochodząc do wyników mających znaczenie nie tylko poznawcze, ale przede wszystkim użyteczne. Całość recenzowanej rozprawy w pełni potwierdza wiedzę teoretyczną Doktorantki oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej. Doktorantka wykazała się bardzo dużą wiedzą ze spawalnictwa, mechaniki, materiałoznawstwa, optometrii, którą doskonale wykorzystała do rozwiązywania problemu naukowego z dyscypliny „Inżynieria mechaniczna”.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określone w wszystkie wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Katowice, 3. XI 2025 r

