



dr hab. inż. Michał Bembenek, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Systemów Wytwarzania



Kraków, 09 grudnia 2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Górnik

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

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo o sygnaturze W10/RDN07/166/2025 skierowane od prof. Zbigniewa Gronostajskiego – Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 8.10.2025 r. oraz rozprawa doktorska.

Postępowanie prowadzone jest zgodnie z Ustawą „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2023 r. poz. 742).

2. Ogólne informacje o Kandydatce

Mgr inż. Monika Górnik ukończyła w 2016 roku Wydział Odlewnictwa, kierunek Metalurgia Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie, a następnie podjęła pracę na stanowisku Asystent Technologa w zakładzie Venture Industries. W latach 2017-2019 była zatrudniona w Odlewni Żeliwa Lisie Kąty na stanowisku specjalista ds. kontroli jakości. W październiku 2019 rozpoczęła studia doktoranckie w trybie dziennym w Szkole Doktorskiej Politechniki Wrocławskiej, gdzie złożyła rozprawę doktorską w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Dorobek naukowy Doktorantki obejmuje współautorstwo sześciu artykułów naukowych. W kwietniu 2023 r. odbyła krótkoterminowy staż w Katedrze Spawalnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach a w maju 2023 r. w Katedrze Inżynierii Materiałowej Politechniki Lubelskiej. Pod koniec 2023 r. zrealizowała dwumiesięczny staż w Instytucie Technologii Mechanicznych Czeskiego Uniwersytetu Technicznego w Pradze w ramach programu Erasmus+.

Zainteresowania naukowe Doktorantki koncentrują się wokół przemysłu metalurgicznego a w szczególności otrzymywania powłok ochronnych na powierzchni metali.

3. Celowość podjęcia tematu

Podjęta w rozprawie problematyka dotyczy napawania plazmowego proszkowego ang. Plasma Powder Transferred Arc Welding (PPTAW), jednej z najbardziej zaawansowanych technologii z zakresu inżynierii powierzchni, znajdującej szerokie zastosowanie zarówno w procesach regeneracji elementów maszyn, jak i w wytwarzaniu warstw ochronnych o wysokich wymaganiach eksploatacyjnych. W obliczu rosnących wymagań stawianych materiałom pracującym w warunkach intensywnego zużycia mechanicznego, oddziaływania agresywnych środowisk korozyjnych oraz erozji kawitacyjnej, zagadnienie to należy uznać za **aktualne i w pełni uzasadnione naukowo oraz aplikacyjnie**.

Celowość podjęcia tematu uzasadniona jest w pierwszej kolejności **niedostatecznym stopniem rozpoznania zależności pomiędzy parametrami procesu PPTAW a właściwościami mechaniczno-funkcjonalnymi warstw napawanych**, zwłaszcza w przypadku porównawczego zastosowania różnych materiałów proszkowych o odmiennym składzie chemicznym i charakterze strukturalnym. Analiza literatury przedmiotu wskazuje, iż dotychczasowe badania najczęściej koncentrują się na pojedynczych materiałach powłokowych lub wybranych mechanizmach zużycia, co utrudnia racjonalny dobór zarówno materiału dodatkowego, jak i parametrów procesu dla złożonych warunków eksploatacji.

Istotnym argumentem przemawiającym za zasadnością podjęcia tematu jest również **praktyczny charakter problemu technologicznego**. W warunkach przemysłowych właściwy dobór technologii napawania oraz parametrów procesu decyduje nie tylko o trwałości elementu, lecz także o efektywności ekonomicznej procesu regeneracji i ochrony powierzchni. Przeprowadzone w pracy badania obejmujące odporność na zużycie ściernie, erozję kawitacyjną oraz korozję elektrochemiczną odpowiadają rzeczywistym warunkom eksploatacji wielu

elementów maszyn stosowanych m.in. w przemyśle energetycznym, górnictwym i petrochemicznym.

Na podkreślenie zasługuje również fakt, że temat pracy wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju technologii spawalniczych i inżynierii materiałowej, w tym w obszar zrównoważonego wykorzystania materiałów i wydłużania cyklu życia elementów technicznych. Uzyskane wyniki mogą stanowić **podstawę do dalszych prac optymalizacyjnych oraz do opracowania zaleceń technologicznych** dla przemysłowych aplikacji napawania plazmowego proszkowego, a także mieć znaczenie dla rozwijających się technologii przyrostowych wykorzystujących podawanie proszków metalicznych.

Reasumując, należy stwierdzić, że **wybór tematu rozprawy jest w pełni uzasadniony**, a jego realizacja odpowiada zarówno potrzebom poznawczym realizowanym w ramach dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, jak i wymaganiom praktyki technicznej. Celowość podjęcia badań została przez Autorkę trafnie rozpoznana i konsekwentnie zrealizowana w dalszych częściach pracy.

4. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Górnik pt. „**Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na mechaniczne i funkcjonalne własności warstw napawanych**” dotyczy zagadnień z zakresu inżynierii powierzchni, technologii spawalniczych oraz tribologii.

Rozprawa liczy **117 stron** i składa się z **szesnastu rozdziałów**. Całość uzupełniona jest o spis rysunków, spis tabel, wykaz oznaczeń i skrótów, streszczenie w języku polskim oraz angielskim, a także wykaz literatury składający się z 180 pozycji. Praca zawiera **bogaty materiał ilustracyjny**, obejmujący liczne rysunki, mikrofotografie oraz zestawienia tabelaryczne, które w istotny sposób wspierają interpretację uzyskanych wyników.

Rozprawa została zorganizowana w sposób **logicznym i przejrzystym**, prowadząc od zagadnień ogólnych i teoretycznych, poprzez metodykę badań, aż do szczegółowej analizy wyników eksperymentalnych i sformułowania końcowych wniosków.

Rozdział pierwszy – **Wprowadzenie** – przedstawia kontekst i aktualność podjętej tematyki. Autorka uzasadnia znaczenie inżynierii powierzchni we współczesnym przemyśle oraz wskazuje na potrzebę ochrony i regeneracji elementów pracujących w warunkach intensywnego zużycia

ściernego, erozji kawitacyjnej oraz oddziaływania środowisk korozyjnych. Podkreślono znaczenie technologii napawania plazmowego proszkowego jako nowoczesnej metody umożliwiającej kształtowanie właściwości warstw wierzchnich.

Rozdziały drugi, trzeci i czwarty mają charakter **teoretyczno-przeładowy**. Obejmują one charakterystykę warstwy wierzchniej materiałów inżynierskich, klasyfikację metod ochrony powierzchni oraz szczegółowy opis technologii napawania plazmowego, ze szczególnym uwzględnieniem procesu PPTAW. W tej części pracy Autorka wykazuje się bardzo dobrą znajomością literatury przedmiotu, prezentując aktualny stan wiedzy z zakresu technologii spawalniczych, mikrostruktury napoin oraz klasyfikacji mechanizmów zużycia powierzchni.

Rozdział piąty – **Podsumowanie wstępu i teza badawcza** – stanowi spójne przejście od części teoretycznej do badań własnych. Autorka jasno formułuje problem badawczy oraz tezę rozprawy. W rozdziale szóstym – **Cele i zakres pracy** – precyzyjnie określono główny cel badań oraz szczegółowe zadania badawcze, obejmujące dobór parametrów procesu PPTAW, analizę mikrostruktury oraz ocenę mechanicznych i funkcjonalnych właściwości warstw napawanych.

Rozdział siódmy przedstawia **program przeprowadzonych badań**, natomiast rozdziały ósmy i dziewiąty opisują przygotowanie materiałów powłokowych oraz stanowisko eksperymentalne wraz z wstępnym doбором parametrów napawania. Szczegółowo scharakteryzowano zastosowane proszki (NiCrBSi, NiCrBSi + WC, stal 316L oraz NiCrCuMo) oraz urządzenie do napawania plazmowego typu EuTronic Gap 3511 DC.

Rozdziały dziesiąty i jedenasty poświęcone są **metodyce badań eksperymentalnych**, podzielonych na dwa etapy: badania pojedynczych ściegów spawalniczych oraz badania warstw napawanych. Opisano tu zastosowane techniki badawcze, w tym badania metalograficzne, pomiary mikrotwardości, analizę składu fazowego (XRD), badania odporności na zużycie ściernie, erozję kawitacyjną oraz korozję elektrochemiczną.

Najobszerniejszą część rozprawy stanowią rozdziały dwunasty, trzynasty i czternasty, w których Autorka prezentuje **wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych**. Zawierają one analizę mikrostruktury warstw napawanych, charakterystykę ich składu chemicznego i fazowego oraz ocenę właściwości funkcjonalnych. Wyniki przedstawiono w sposób czytelny i uporządkowany, a ich interpretacja wskazuje na dogłębną analizę zależności pomiędzy parametrami procesu PPTAW a uzyskanymi właściwościami warstw.

Rozdział piętnasty – **Wnioski i podsumowanie** – syntetyzuje uzyskane rezultaty badań i potwierdza przyjętą tezę rozprawy. Autorka jednoznacznie wykazuje istotny wpływ parametrów procesu napawania plazmowego proszkowego na mikrostrukturę, mikrotwardość oraz odporność warstw na zużycie ściernie, erozję kawitacyjną i korozję elektrochemiczną. W rozdziale szesnastym zaproponowano **kierunki dalszych badań**, wskazując na możliwość rozwinięcia przedstawionych analiz w kolejnych pracach naukowych i aplikacjach przemysłowych.

Całość rozprawy cechuje się **wysokim poziomem merytorycznym, poprawnością metodyczną oraz spójnością logiczną**. Praca stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie naukowe, wnoszące istotny wkład do rozwoju technologii napawania plazmowego proszkowego w dyscyplinie **Inżynieria Mechaniczna**.

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Górnik pt. „**Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na mechaniczne i funkcjonalne własności warstw napawanych**” reprezentuje **wysoki poziom merytoryczny**, zarówno pod względem zakresu przeprowadzonych badań, jak i ich wartości poznawczej oraz potencjału aplikacyjnego. Autorka podjęła aktualne i istotne zagadnienie z zakresu inżynierii powierzchni i technologii spawalniczych, które ma kluczowe znaczenie dla trwałości elementów maszyn pracujących w warunkach intensywnego zużycia, oddziaływania środowisk korozyjnych oraz erozji kawitacyjnej.

Problematyka napawania plazmowego proszkowego (PPTAW) została ujęta w sposób **kompleksowy i metodycznie dojrzały** – od szeroko zakrojonego przeglądu literatury i podstaw teoretycznych dotyczących warstw wierzchnich oraz mechanizmów zużycia, poprzez szczegółowy opis technologii PPTAW, aż po rozbudowane badania eksperymentalne obejmujące analizę mikrostruktury, mikrotwardości oraz właściwości funkcjonalnych warstw napawanych. Autorka wykazała się bardzo dobrą znajomością zagadnienia, trafnie identyfikując kluczowe obszary wymagające optymalizacji, takie jak parametry procesu napawania, stopień wymieszania warstwy z podłożem oraz dobór materiału proszkowego.

Na szczególne podkreślenie zasługuje **szeroki i spójny zakres eksperymentów**, zrealizowanych dla czterech różnych materiałów proszkowych (NiCrBSi, NiCrBSi + WC, stal 316L oraz NiCrCuMo), prowadzonych w porównywalnych warunkach technologicznych.

Pozwoliło to na rzetelną ocenę wpływu parametrów procesu PPTAW na właściwości warstw oraz na identyfikację materiału wykazującego najwyższą odporność na więcej niż jeden mechanizm degradacji. Taki sposób prowadzenia badań świadczy o **wysokiej świadomości metodologicznej i umiejętności krytycznej analizy wyników**.

Metodyka badań została dobrana w sposób trafny i adekwatny do postawionych celów. Autorka wykorzystwała nowoczesne i powszechnie akceptowane w badaniach inżynierskich techniki pomiarowe, takie jak mikroskopia skaningowa (SEM) z analizą EDS, dyfrakcja rentgenowska (XRD), pomiary mikrotwardości, badania tribologiczne, testy erozji kawitacyjnej oraz elektrochemiczne badania korozyjne. Zastosowanie tych metod umożliwiło wieloaspektową ocenę jakości warstw napawanych i zwiększyło wiarygodność uzyskanych rezultatów.

Na uwagę zasługuje również **interdyscyplinarny charakter pracy**, łączący elementy inżynierii mechanicznej, materiałoznawstwa, spawalnictwa i tribologii. Wysoki poziom merytoryczny został utrzymany także w części interpretacyjnej, w której Autorka w sposób logiczny i przekonujący wyciąga wnioski z uzyskanych wyników, wskazując jednoznaczne zależności pomiędzy parametrami procesu napawania a mikrostrukturą i właściwościami funkcjonalnymi warstw.

Rozprawa jest również poprawna pod względem struktury logicznej i językowej. Poszczególne rozdziały są jasno wyodrębnione, a narracja prowadzona w sposób spójny i czytelny. Wnioski końcowe są dobrze uargumentowane i bezpośrednio wynikają z przedstawionych badań, natomiast zaproponowane kierunki dalszych prac badawczych są realistyczne i uzasadnione.

Podsumowując, rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Górnik zasługuje na **bardzo wysoką ocenę merytoryczną**. Praca nie tylko spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, lecz również wyróżnia się solidnym przygotowaniem metodycznym, dojrzałością badawczą oraz istotnym potencjałem aplikacyjnym. Autorka wykazała się szeroką wiedzą specjalistyczną, umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań eksperymentalnych oraz właściwej interpretacji uzyskanych wyników.

6. Uwagi krytyczne

Choć rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Górnik pt. „**Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na mechaniczne i funkcjonalne własności warstw**

napawanych” reprezentuje wysoki poziom merytoryczny, można sformułować kilka krytycznych uwag, które nie umniejszają wartości pracy, lecz wskazują na możliwe kierunki jej dalszego doskonalenia i rozwoju.

1. **Brak analizy statystycznej wyników badań.** W pracy przedstawiono obszerny materiał eksperymentalny obejmujący pomiary mikrotwardości, odporności na zużycie ściernie, erozję kawitacyjną oraz korozję elektrochemiczną. Wyniki te są czytelnie zaprezentowane i logicznie interpretowane, jednak w rozprawie nie zastosowano metod statystycznej oceny danych (np. odchyłeń standardowych, przedziałów ufności czy testów istotności). Uwzględnienie takiej analizy zwiększyłoby formalną rzetelność porównań pomiędzy badanymi materiałami i seriami próbek.
2. **Ograniczony zakres parametrów technologicznych.** Autorka skoncentrowała się na wybranych parametrach procesu PPTAW dobranych w oparciu o plan eksperymentalny 3k, co jest rozwiązaniem uzasadnionym metodycznie. Niemniej, z punktu widzenia przemysłowych aplikacji, interesującym uzupełnieniem byłoby rozszerzenie badań o wpływ innych zmiennych procesu, takich jak podgrzewanie wstępne podłoża, wielowarstwowe napawanie czy zmienność składu gazów osłonowych.
3. **Brak modelowego ujęcia zależności proces–własności.** Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na istotny wpływ parametrów procesu napawania na mikrostrukturę i właściwości warstw, jednak analiza ma charakter głównie jakościowo-porównawczy. Wzbogacenie pracy o element modelowania (empirycznego lub numerycznego) bądź próbę sformułowania zależności predykcyjnych mogłoby dodatkowo podnieść wartość poznawczą rozprawy.
4. **Rozbudowana część teoretyczna.** Rozdziały poświęcone charakterystyce warstwy wierzchniej, metodom ochrony powierzchni oraz klasyfikacji zjawisk zużycia zostały opracowane poprawnie i rzetelnie, jednak miejscami mają charakter bardzo rozbudowany i opisowy. Pewne fragmenty mogłyby zostać skrócone lub ograniczone do zagadnień bezpośrednio związanych z technologią PPTAW, co zwiększyłoby dynamikę narracji i przejrzystość tekstu.

Powyższe uwagi mają charakter **konstruktywny** i odnoszą się głównie do możliwości dalszego rozszerzenia lub pogłębienia podjętej problematyki. Nie wskazują one na istotne braki rozprawy, lecz raczej wyznaczają potencjalne kierunki dalszego rozwoju badań. Rozprawa

pozostaje **wartościowym, solidnie opracowanym i dojrzałym przedsięwzięciem badawczym**, w pełni odpowiadającym wymaganiom stawianym pracom doktorskim w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

7. Oryginalność pracy i wkład autorki

Rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Górnik pt. „**Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na mechaniczne i funkcjonalne własności warstw napawanych**” stanowi **oryginalne opracowanie naukowe**, które wnosi istotny wkład do rozwoju wiedzy w obszarze inżynierii powierzchni oraz technologii napawania plazmowego proszkowego. Oryginalność pracy przejawia się przede wszystkim w **kompleksowym, wielokryterialnym ujęciu problemu badawczego**, polegającym na jednoczesnej analizie wpływu parametrów procesu PPTAW na mikrostrukturę, właściwości mechaniczne oraz funkcjonalne warstw napawanych. Autorka nie ograniczyła się do oceny pojedynczego mechanizmu degradacji, lecz przeprowadziła równoległe badania odporności na zużycie ściernie, erozję kawitacyjną oraz korozję elektrochemiczną, co pozwoliło na całościową ocenę trwałości wytwarzanych warstw.

Istotnym elementem nowości przedstawionej rozprawy jest **porównawcza analiza czterech różnych materiałów proszkowych** (NiCrBSi, NiCrBSi + WC, stal 316L oraz NiCrCuMo), przeprowadzona w spójnych warunkach technologicznych. Takie podejście umożliwiło rzetelne określenie różnic w zachowaniu się napawanych warstw oraz identyfikację materiału wykazującego korzystny kompromis pomiędzy odpornością na kilka dominujących mechanizmów zużycia. W literaturze przedmiotu tego rodzaju zestawienia w jednolitym układzie badawczym występują stosunkowo rzadko.

Do istotnego wkładu autorki należy zaliczyć również **opracowanie i realizację metodyki badawczej**, obejmującej dwuetapowy proces eksperymentalny – początkową ocenę pojedynczych ściegów spawalniczych oraz właściwe badania warstw napawanych. Takie podejście umożliwiło świadomy i uzasadniony dobór parametrów procesu PPTAW, prowadzący do uzyskania warstw o pożądanej geometrii, niskim stopniu wymieszania z podłożem oraz stabilnej mikrostrukturze.

Autorka samodzielnie zaplanowała i przeprowadziła szeroki zakres badań eksperymentalnych z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury badawczej, właściwie dobierając

metody analizy do charakteru ocenianych właściwości. Na podkreślenie zasługuje umiejętność **interpretacji wyników w aspekcie zależności proces–struktura–właściwości**, co świadczy o dojrzałości badawczej i wysokich kompetencjach naukowych.

Wkład autorki ma również **wymiar aplikacyjny**, gdyż uzyskane rezultaty mogą stanowić podstawę do opracowywania zaleceń technologicznych dla przemysłowych procesów napawania plazmowego proszkowego. Wskazanie parametrów sprzyjających uzyskaniu warstw odpornych na więcej niż jeden mechanizm degradacji jest szczególnie istotne z punktu widzenia praktycznych zastosowań w przemyśle maszynowym, energetycznym i wydobywczym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że Autorka wniosła **istotny i w pełni samodzielny wkład naukowy** w rozwój badań nad technologią PPTAW. Oryginalność podjętego podejścia, szeroki zakres przeprowadzonych badań oraz umiejętna interpretacja wyników spełniają wymagania stawiane rozprawom doktorskim i potwierdzają zdolność Autorki do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

8. Wniosek końcowy

Usterki i uwagi krytyczne wymienione w niniejszej recenzji mają charakter konstruktywny i nie obniżają w istotny sposób poziomu ocenianej rozprawy doktorskiej. Praca prezentuje wymaganą ogólną oraz specjalistyczną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, a także jednoznacznie dowodzi jej umiejętności samodzielnego planowania i prowadzenia prac badawczych, właściwego doboru metod badawczych oraz krytycznej analizy i interpretacji uzyskanych wyników.

Pozytywne aspekty rozprawy, w szczególności jej oryginalny charakter, kompleksowe ujęcie zagadnienia napawania plazmowego proszkowego oraz istotny potencjał aplikacyjny uzyskanych rezultatów, pozwalają stwierdzić, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Górnik pt. „Wpływ wybranych parametrów napawania plazmowego proszkowego na mechaniczne i funkcjonalne właściwości warstw napawanych” stanowi rozwiązanie oryginalnego problemu naukowego z zakresu inżynierii powierzchni i technologii spawalniczych, wnosząc znaczący wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

Przedstawiony sposób rozwiązania problemu badawczego, jak również wykazane możliwości wykorzystania wyników własnych badań w praktyce przemysłowej, spełniają

wymagania formalne określone w art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.).

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Moniki Górnik do publicznej obrony rozprawy doktorskiej oraz o nadanie Jej stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

A handwritten signature in brown ink, appearing to read "Michał Borkowski". The signature is written in a cursive style with a long horizontal stroke at the beginning.