

dr hab. inż. Artur Czupryński, prof. uczelni
Politechnika Śląska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Katedra Spawalnictwa
ul. Konarskiego 18A
44-100 Gliwice

Gliwice, 22 sierpnia 2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Piotra Biskupa pt. „Wpływ zastosowania napawania metodami o wysokiej gęstości energii na odporność ścierną i korozyjną napoin”

wykonanej pod opieką promotora Pana dra hab. inż. Leszka Łatki, prof. uczelni
opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Wrocławskiej
z dnia 28 czerwca 2023 r.

I. Uwagi wstępne

Podstawą prawną przygotowanej recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Piotra Biskupa są wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018, poz. 1668, tekst jedn. Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zm.). Recenzja została przygotowana na podstawie pisma Pana prof. dra hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 28 czerwca 2023 r.

Za podstawę oceny rozprawy doktorskiej przyjęto następujące kryteria:

- struktura rozprawy, trafność sformułowania tematu, wyboru obszaru i przedmiotu badań,
- oryginalność celów badawczych, tezy i wkład autorski do dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna,
- oryginalność rozwiązania problemu naukowego,
- metody badawcze wykorzystane w pracy do udowodnienia tezy głównej i celów badawczych,
- rezultaty badawcze,
- ogólna wiedza teoretyczna Kandydata w dyscyplinie inżynieria mechaniczna,
- umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została przygotowana pod kierunkiem naukowym Pana dra hab. inż. Leszka Łatki, prof. PWr w ramach Studium Doktoranckiego Politechniki Wrocławskiej oraz programu „Doktoratu Wdrożeniowego” przy udziale KHGM Polska Miedź S.A. Oddział Huta Miedzi „Legnica”. Praca, licząca 151 stron, ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Struktura pracy jest poprawna i zgodna z formalnymi wymogami badań naukowych a układ jej treści przejrzysty i logiczny. Rozprawę tworzą: Wstęp, 15 spójnych rozdziałów, Podsumowanie, wystarczająca bibliografia zawierająca 160 pozycji literaturowych (w tym 92 publikacje anglojęzyczne) spisy 12 rysunków i 14 tabel, wykaz 22 zastosowanych norm, listy skrótów i symboli oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

II. Ocena istotności problemu naukowego

Częste używanie się części maszyn i urządzeń, pracujących w przemyśle górniczym i wydobywczym, petrochemicznym, hutniczym, budowlanym, cementowym czy energetycznym, determinuje rosnące z każdym rokiem zapotrzebowanie na materiały inżynierskie odporne na ścieranie i korozję. Wysokie wymagania dotyczące właściwości eksploatacyjnych części i wyposażenia maszyn oraz urządzeń stosowanych ww. sektorach gospodarki powodują konieczność stosowania do ich wytwarzania innowacyjnych materiałów konstrukcyjnych oraz nowoczesnych i zaawansowanych technologii. Biorąc pod uwagę względy ekonomiczne, koniecznym staje się opracowywanie oryginalnych składów chemicznych i technologii wytwarzania materiałów nowej generacji, które pozwalałyby na intensywne i długotrwałe użytkowanie części maszyn i urządzeń w trudnych warunkach pracy. Wytwarzając części maszyn i urządzeń należy nie tylko dążyć do zwiększenia ich trwałości oraz wzrostu wydajności i rentowności produkcji, ale także właściwie oceniać parametry tribologiczne używających się powierzchni technicznych.

Jednymi z najszybciej rozwijającymi się i równocześnie najczęściej stosowanymi w przemyśle technologiami są technologie spawalnicze. Technologie te są ważnym elementem wytwarzania części maszyn i urządzeń o specjalnych właściwościach użytkowych. Umożliwiają one uzyskanie warstw wierzchnich o wymaganych właściwościach eksploatacyjnych. Spawalnictwo jest uznane w normach światowych, obowiązujących również w Polsce, za jeden ze specjalnych procesów produkcji, do których zalicza się te procesy, których rezultaty trudno jest zweryfikować w sposób nieniszczący w trakcie wytwarzania produktu. Natomiast wytworzony w wyniku procesu specjalnego produkt może ujawnić swoje wady w trakcie użytkowania. A zatem proces specjalny powinien być w jakiś sposób kontrolowany, aby nie dopuścić do ewentualnych wad produktu.

Z tego względu zasadne i konieczne jest szczegółowe zbadanie tych procesów w celu ich wykorzystania do precyzyjnego kształtowania właściwości eksploatacyjnych napawanych warstw. Nie jest to jednak możliwe bez znajomości właściwości fizycznych i wynikających z nich właściwości eksploatacyjnych napoin, w tym odporności na zużycie ścierne i korozję. Zagadnienie wpływu warunków i technologii napawania metodami FCAW (proces 136), PTA (proces 15) i LMD (proces 52) wg PN-EN ISO 4063 na właściwości użytkowe warstw napawanych jest dotychczas zbadane w niewielkim stopniu. Szczególnie dotyczy to napawania metodami PTA i LMD, gdzie głównie stosowane są materiały dodatkowe w postaci proszku metalicznego, natomiast w formie drutów elektrodowych zwłaszcza z rdzeniem proszkowym już rzadziej.

Śledząc na bieżąco rozwój stanu wiedzy dotyczący procesów regeneracji i modyfikacji właściwości powierzchni różnych materiałów konstrukcyjnych stwierdzam, że podjęcie przez mgra inż. Piotra Biskupa pracy doktorskiej o charakterze teoretyczno-doświadczalnym pt. „*Wpływ zastosowania napawania metodami o wysokiej gęstości energii na odporność ścierną i korozyjną napoin*” należy uznać za wybór trafny ze względu na znaczenie tematyki w zakresie poznawczym jak również możliwość praktycznego zastosowania wyników badań.

Problematyka, którą Doktorant podjął, jest mało zbadana, a przy tym bardzo istotna z naukowego i użytkowego punktu widzenia. Dlatego uważam, że temat pracy jest uzasadniony, interesujący i aktualny. Cel, przedmiot i treść rozprawy doktorskiej są spójne z dyscypliną naukową Inżynieria Mechaniczna.

III. Charakterystyka i ocena formalna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska autorstwa Pana mgra inż. Piotra Biskupa pt. „Wpływ zastosowania napawania metodami o wysokiej gęstości energii na odporność ścierną i korozyjną napoin” jest skomponowana zgodnie ze standardem IMRaD. Układ pracy umożliwia dość swobodne podążanie czytelnika za przedstawionymi w logicznie uzasadnionym ciągu przyczynowo-skutkowym opisami badań.

W mojej subiektywnej opinii liczbę 15 rozdziałów można byłoby zmniejszyć a ich strukturę zmodyfikować bez utraty wartości merytorycznej opracowania.

Czterostronicowy rozdział 1 zatytułowany: „Wstęp” dość dobrze wprowadza czytelnika do tematyki rozprawy i uzasadnia motywację do jej podjęcia poprzez przedstawienie realnych problemów związanych z regeneracją części maszyn i urządzeń w Hucie Miedzi Legnica oraz wyników wstępnych badań własnych Autora.

Rozdział 2 zawiera opis stanu wiedzy w świetle przeglądu i analizy pozycji literatury technicznej krajowej i zagranicznej. Autor przedstawił szczegółowy przegląd treści prac bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy dzieląc je na dwa główne nurty tematyczne związane z: procesami zużycia elementów (rozdział 2.1) i nowoczesnymi technologiami napawania (rozdział 2.2). Na podkreślenie zasługuje trafny wybór zagadnień przedstawionych ww. rozdziałach poparty rzeczywistymi przykładami spotykanymi w praktyce przemysłowej, stosowny do tematu pracy zakres ich omówienia oraz zwięzły i przejrzysty sposób prezentacji.

Mam tylko jedną uwagę dotyczącą tej części pracy. W rozdziale 2 str. 17 Doktorant stwierdza, że „w ramach rozprawy doktorskiej stworzono pojęcie napawalności, które nie znajduje odzwierciedlenia w literaturze ani normatywach spawalniczych”. Stwierdzenie to jest wysoce dyskusyjne. Znanych jest wiele wcześniejszych opracowań naukowych dotyczących tej terminologii, np. Wojciechowski W., *Ocena napawalności stali stopowych*. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydaw. PK, 1997; Góral T., *Wpływ technologicznych parametrów napawania brązu na podłoże stalowe na wybrane właściwości użytkowe napoin*. Praca doktorska, AGH, Kraków, 2007; Lenart-Zapalska I., Szala M., Stasiak Z., Łukasik D., *Mikrostruktura powłok napawalnych laserem Nd: YAG pompowanych diodowo*. 39 Studencka Konferencja Naukowa, Innowacje w Inżynierii Produkcji, Technologii Materiałów i Bezpieczeństwie, 28 maja 2015, Częstochowa, Polska. Graficzna interpretacja napawalności/spawalności przedstawiona przez Doktoranta na Rys. 2.7 jako wektor wypadkowy ze napawalności/spawalności metalurgicznej, konstrukcyjnej i technologicznej nie jest oryginalna i stanowi tylko odwzorowanie wcześniej ustalonych zależności przedstawionych chociażby w publikacji Kozioł P., Organek P., *Ocena spawalności stali konstrukcyjnych*. Przegląd Budowlany 1/2015.

Treść rozdziału 2.3 to Podsumowanie, które dość dobrze uzasadnia sformułowanie tezy przedstawionej w rozdziale 3 w następującej postaci:

„*Napawanie metodami o wysokiej gęstości energii umożliwia wytworzenie napoin o zwiększonej odporności na ścieranie i korozję w porównaniu do warstw wykonanych metodami konwencjonalnymi*”.

Doktorant przedstawił również w tym rozdziale dwa cele i zakres pracy. Celem naukowym pracy było: „*określenie wpływu parametrów procesu oraz warunków technologicznych napawania łukowego, plazmowego i laserowego na strukturę powstałych napoin oraz własności użytkowe*”. Natomiast za cel użyteczny pracy Doktorant przyjął: „*dobór warunków*

napawania plazmowego oraz laserowego warstw o podwyższonej odporności na zużycie ścierne i korozję w odniesieniu do napoin wykonanych metodami konwencjonalnymi”

Osiągnięcie tych celów wymagało starannego zaplanowania szerokiego zakresu prac badawczych i analitycznych, który Doktorant opisuje na stronach 44-45 i ilustruje na rys. 4.2. Nie mam uwag merytorycznych do zaproponowanej metodyki badawczej. Przyjęte ramy zadań badawczych, a zwłaszcza ich założony logiczny ciąg przyczynowo-skutkowy i komplementarność są przejrzyste i łatwe do oceny.

Treść części badawczej rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Biskupa (rozdział 4) obejmuje zaplanowanie i przeprowadzenie badań naukowych dotyczących wpływu wybranych warunków i parametrów napawania łukowego i laserowego stali konstrukcyjnej niestopowej, z użyciem dwóch różnych gatunków drutów proszkowych, w tym spoiwa z rdzeniem metalicznym na osnowie żelaza i spoiwa z rdzeniem metalicznym na osnowie niklu zawierającym dodatek cząstek ceramicznych w postaci węgliku wolframu, na budowę strukturalną i właściwości eksploatacyjne napoin oraz interpretację ich wyników. Porównano odporność na zużywanie ścierne typu metal-minerał, twardość, skład chemiczny, strukturę metalograficzną oraz odporność na korozję warstw napawanych. Efektem ostatecznym opisanych prac są zalecenia technologiczne przeznaczone do zastosowania w praktyce produkcyjnej. Doktorant na bieżąco analizuje uzyskane wyniki konfrontując je z informacjami dostępnymi w literaturze. Wydaje się jednak, że przy tak dużej ilości dostarczonych informacji należałoby dokonać obszernej analizy wyników badań w osobnym rozdziale.

W rozdziale 5 Doktorant podkreślił potwierdzenie przyjętej tezy rozprawy doktorskiej i sformułował aż 11 wniosków o charakterze poznawczym i użytkowym. Moim zdaniem dokonania badawcze Pana mgr inż. Piotra Biskupa można byłoby podsumować maksymalnie w 6 zasadniczych wnioskach. Godne podkreślenia jest, że Doktorant ma świadomość potrzeby kontynuowania podjętej pracy, co wyraził w rozdziale 5.2 wskazując na kierunki przyszłych badań.

Literatura obejmuje 160 pozycji źródłowych, w tym 1 artykuł naukowy, którego Doktorant jest współautorem. Na przytoczone źródła literaturowe składają się krajowe oraz zagraniczne artykuły naukowe, a także pozycje książkowe. Właściwie wszystkie cytowania zaczerpnięte są z prac opublikowanych w XXI wieku. Wskazuje to, że podjęte badania są zgodne z najnowszymi trendami nauki. Zgromadzona literatura jest prawidłowo i trafnie cytowana. Można stwierdzić, że zebrano najważniejsze piśmiennictwo dotyczące tematu badań. Świadczy to dobrze o dociekliwości naukowej Doktoranta i pozwala na właściwą interpretację uzyskanych wyników. Rozprawa napisana jest na dobrym poziomie językowym, niemniej jednak w całej pracy Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów literowych, gramatycznych, stylistycznych, interpunkcyjnych i terminologicznych. Podczas oceny dysertacji pod względem językowym i edycyjnym napotkałem w tekście opracowania m.in. następujące nieprawidłowości. Powinno być:

- „oddziaływanie” zamiast „odziaływanie” (str. 12, 13, 19, 27, 38, 56, 131),
- „... przesuwa się po ...” zamiast „... przesuwana się po ...” (str. 41),
- „... ze względu na ich strukturę i charakter ...” zamiast „... ze względu ich na strukturę i charakter ...” (str. 42),
- „... w osnowie niklu ...” zamiast „... w odnowie niklu ...” (str. 44)

- „... prowadzi do powstawania ...” zamiast „... powadzi do powstawania ...” (str. 46),
- „... parametrów procesowych ...” zamiast „... paramentów procesowych ...” (str. 60),
- „... zabiegów cieplnych ...” zamiast „... zabiegów ciepłych ...” (str. 60),
- powtórzenia fragmentu tekstu: „Analiza składu chemicznego w zaznaczonym obszarze ...” (str. 68 i str. 69),
- „Hejwowski [131]” zamiast „Hejowski [131]” (str. 91),
- niezgodność oznaczenia współczynnika udziału metalu podłoża (W) w wykazie symboli z oznaczeniem zawartym w tablicach od 6 do 9 (γ),
- błąd w zakresie terminologii spawalniczej. Autor wielokrotnie stosuje termin: „palnik”, co w kontekście omawianych technologii nie jest właściwe. Wg normy PN-EN ISO 60974-7 poprawny termin to „uchwyt spawalniczy”. Zgodnie z normą PN-EN ISO 5172 termin „palnik” odnosi się do sprzętu do spawania gazowego.

Niedociągnięcia te, nie wpływają na wartość merytoryczną osiągnięcia, ale w tego typu opracowaniu zdecydowanie powinno się włożyć nieco więcej staranności w prace redakcyjne.

IV. Ocena merytoryczna rozprawy

Tematyka pracy jest kontynuacją dwóch uzupełniających się i tradycyjnych dla Katedry Obróbki Plastycznej, Spawalnictwa i Metrologii Politechniki Wrocławskiej trendów badawczych: badań właściwości eksploatacyjnych elementów regenerowanych procesami napawania i natryskiwania cieplnego oraz badań rozwojowych tych procesów regeneracji.

Doktorant określił wpływ parametrów procesu oraz warunków technologicznych napawania łukowego, plazmowego i laserowego na strukturę powstałych napoin oraz ich własności użytkowe. Następnie porównał odporność na zużywanie ściernie typu metal-minerał, twardość, skład chemiczny, morfologię oraz odporność korozyjną warstw napawanych. Wyniki tych prac badawczych umożliwiły mu sformułowanie zaleceń technologicznych do wykonywania elementów napawanych drutami proszkowymi osłonowymi.

Pracę uważam za wartościową pod względem merytorycznym i praktycznym. Doktorant konsekwentnie i prawidłowo zrealizował zadania badawcze wchodzące w zakres rozprawy: przeprowadził obszerne i krytyczne studium literaturowe, zaproponował właściwe do osiągnięcia celu pracy badania i analizy, przeprowadził zaawansowane i komplementarne badania eksperymentalne ukierunkowane na ocenę morfologii i właściwości eksploatacyjnych próbek napawanych. Analiza wyników badań jest przeprowadzona dość konsekwentnie, prawidłowo, z odniesieniami do wyników badań z literatury i zakończona zaleceniami technologicznymi napawania.

W podsumowaniu chciałbym podkreślić, że zaplanowane cele i zakres pracy zostały osiągnięte i dlatego całość rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Biskupa oceniam pozytywnie. Doceniam zwłaszcza trafnie przyjęty zakres metod badawczych oraz dużą liczbę przeprowadzonych badań, forma prezentowania wyników, rzeczowy sposób ich analizy oraz przedstawione wnioski świadczą o dojrzałości badawczej Doktoranta. Sposób przygotowania rozprawy i jej szata graficzna nie budzą moich zastrzeżeń.

V. Uwagi dyskusyjne

Spośród szeregu uwag, które są nieuniknione przy tak obszernych badaniach, uważam, że niektóre z nich wymagają wyjaśnienia. Podczas lektury rozprawy nasunęło mi się kilka wątpliwości i pytań, na które chciałbym otrzymać odpowiedzi.

1. Dlaczego w pracy pominięto etap matematycznego planowania eksperymentu a wstępne wartości zmiennych procesowych przyjęto na podstawie parametrów teoretycznych? W oparciu o jakie źródła dokonano doboru tych parametrów?
2. Jakie przesłanki towarzyszyły wyborowi spoiw do napawania?
3. Proszę wyjaśnić w jaki sposób obliczano wartość energii liniowej dla poszczególnych procesów napawania (tab. 3-5). Czy i jaką wartość współczynnika sprawności cieplnej zastosowano podczas obliczania ilości wprowadzonego ciepła?
4. Na str. 84 dysertacji Doktorant podaje, że „jednym z kryteriów wyboru parametrów wykonania warstw była ilość nieciągłości powierzchniowych wewnętrznych i zewnętrznych”. Dlaczego Doktorant nie podaje wyników badań nieniszczących powierzchniowych (VT, PT czy MT) dla wykonanych napoin?
5. Doktorant twierdzi, że badania odporności na zużycie ściernie przeprowadzono zgodnie z wymaganiami normy ASTM G65. Czy na pewno tak było? Dlaczego przyjęto tak łagodne warunki próby badania zużycia ściernego typu metal-minerał?
6. Na jakiej podstawie sformułowano wniosek o charakterze poznawczym 6? W jaki sposób określono wartość naprężeń i odkształceń spawalniczych w napoinach?
7. Proszę o wskazanie konkretnej implementacji uzyskanych wyników badań do rozwiązania obecnych problemów istniejących w Hucie Miedzi Legnica.

Pomimo postawienia powyższych uwag, rozprawę oceniam pozytywnie pod względem zarówno formalnym, jak i merytorycznym. W moim przekonaniu, Doktorant udowodnił, że jest dobrze przygotowany metodologicznie do planowania i realizacji badań naukowych.

VI. Konkluzja

Recenzowana rozprawa doktorska pt. „*Wpływ zastosowania napawania metodami o wysokiej gęstości energii na odporność ścierną i korozyjną napoin*” jest wartościowym osiągnięciem naukowym Pana mgr inż. Piotra Biskupa. Doktorant zaprezentował w recenzowanej dysertacji komplementarne i merytorycznie dobrze uzasadnione wyniki badań i analiz, zastosował nowoczesne metody badawcze i wykazał dużą wiedzę w zakresie spawalnictwa oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Dobrze oceniam również szczegółowy przegląd literatury właściwie opisujący stan wiedzy dotyczącej poruszanej w rozprawie tematyki oraz formę prezentacji osiągnięcia.

Opiniowana praca doktorska spełnia wymagania Ustawy z dnia 20.07.2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z roku 2022 poz. 574 z późn. zm.) oraz wcześniejsze regulacje prawne i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie Pana mgr inż. Piotra Biskupa do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Sporządził:

