

dr hab. inż. Dariusz Fydrych, prof. uczelni  
Instytut Technologii Maszyn i Materiałów  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa  
Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12  
80-233 Gdańsk

Gdańsk, 23 sierpnia 2022 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Szymury pt.:**

**„Właściwości warstw napawanych łukowo z podawaniem grawitacyjnym węgla wolframu do jeziora napoiny”**

wykonanej pod opieką promotora Pana dr. hab. inż. Aleksandra Lisieckiego, prof. uczelni oraz promotora pomocniczego dr. inż. Artura Czupryńskiego, prof. uczelni opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej  
z dnia 21 czerwca 2022 r.

### Wprowadzenie

Jednym z naturalnych i wciąż aktualnych kierunków rozwoju procesów wytwarzania, w tym spajania i procesów pokrewnych, jest obniżanie kosztów przy jednoczesnej poprawie właściwości eksploatacyjnych wyrobów. Może to być realizowane poprzez wzrost wydajności wynikający z automatyzacji, ale również dzięki zastosowaniu procesów posiadających określone zalety m.in. możliwość dostosowania do wspomnianej automatyzacji i brak wymagań co do stosowania gazu osłonowego. Takim procesem jest spawanie drutem proszkowym samoosłonowym (114 wg PN-EN ISO 4063). Proces ten jest wykorzystywany najczęściej np. do napawania warstw trudnościeralnych, ale stanowi także najpopularniejszą, obok spawania elektrodami otulonymi (proces 111), metodę wytwarzania i regeneracji elementów konstrukcji pod wodą.

Oprócz wspomnianych zalet proces ten charakteryzuje się uniwersalnością technologiczną i metalurgiczną i jest z powodzeniem stosowany zarówno do spawania, jak i napawania. Bardzo interesująca i atrakcyjna jest możliwość sterowania składem chemicznym napoiny nie tylko przez warunki technologiczne wpływające na wartość stopnia wymieszania, ale również poprzez dobór materiału dodatkowego (zarówno rdzenia, jak i metalowej koszulki) oraz możliwość podawania stopów metali i cząstek ceramicznych.

Śledząc na bieżąco rozwój stanu wiedzy dotyczący procesów regeneracji i modyfikacji właściwości powierzchni różnych materiałów konstrukcyjnych stwierdzam, że zakres tematyczny rozprawy doktorskiej autorstwa Pana mgr. inż. Michała Szymury jest oryginalny, bardzo interesujący i równocześnie ważny z praktycznego punktu widzenia. Cel, przedmiot i treść rozprawy doktorskiej są ściśle dopasowane do dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

## Charakterystyka i ocena formalna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Michała Szymury jest skomponowana zgodnie ze standardem IMRaD. Jej kompozycja umożliwia swobodne podążanie czytelnika za przedstawionymi w logicznie uzasadnionym ciągu przyczynowo-skutkowym opisami badań i analiz. Mam tylko jedną uwagę dotyczącą tego aspektu pracy: podrozdziały 2.1.2.1 i 2.2.1.1 mogłyby zostać połączone z poprzednimi.

Rozprawa ma 129 stron i została podzielona na spis treści, 6 rozdziałów i spis literatury. Nie zawiera załączników, spisów rysunków i tabel, listy skrótów i symboli, streszczenia w języku polskim i angielskim, które nie są wprawdzie konieczne, ale jednak są często zamieszczane w opracowaniach naukowych.

Dwustronicowy rozdział pierwszy zatytułowany: „Wstęp” dobrze wprowadza czytelnika do tematyki rozprawy, uzasadnia motywację do jej podjęcia i jest zakończony krótkim podsumowaniem wskazującym zakres zrealizowanych prac służących osiągnięciu postawionych celów.

Drugi rozdział obejmuje opis stanu wiedzy w świetle literatury. Autor przedstawił szczegółowy przegląd treści prac bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy dzieląc je na dwa główne nurty tematyczne: materiałowy (rozdział 2.1) i technologiczny (rozdział 2.2). natomiast treść rozdziału 2.3 stanowi Podsumowanie, które uzasadnia sformułowanie tezy przedstawionej w rozdziale 3 następującej postaci:

„Poprzez zmiany warunków technologicznych napawania łukowego drutem proszkowym samoosłonowym z podawaniem cząstek węgla wolframu do jeziora napoiny, obejmujące natężenie podawania cząstek węgla wolframu oraz odległość osi dyszy jego podawania od osi drutu można w istotny sposób wpływać na zawartość cząstek węgla wolframu w napoinie oraz wpływać na ich rozłożenie, a tym samym kształtować strukturę i własności napawanych warstw. Odpowiedni dobór parametrów napawania zapewni bardzo wysoką odporność na zużywanie ściernie kompozytowych napoin niezależnie od stopnia ich zużycia”.

Doktorant przedstawił również w tym rozdziale dwa cele i zakres pracy. Celem naukowym pracy było: *„określenie wpływu warunków technologicznych zmechanizowanego napawania łukowego drutem proszkowym samoosłonowym zapewniającym stopiwo żeliwa chromowego z grawitacyjnie podawanym węglikiem wolframu do jeziora napoiny, na strukturę i własności wykonywanych warstw wierzchnich”*. Natomiast za cel praktyczny pracy Autor przyjął: *„określenie optymalnych parametrów napawania ze względu na zawartość cząstek węgla wolframu, przez symulowanie rzeczywistego obiektu badań przy użyciu opracowanego modelu matematycznego procesu napawania łukowego z podawanymi cząstkami węgla wolframu. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań struktury i własności kompozytowych napoin zawierających cząstki węgla wolframu w osnowie żeliwa chromowego, opracować wytyczne technologiczne napawania warstw o wysokiej odporności na zużywanie ściernie typu metal-minerał przy małych naciskach, niezależnie od stopnia zużycia.”*

Osiągnięcie tych celów wymagało starannego zaplanowania szerokiego zakresu prac badawczych i analitycznych, który Doktorant opisuje na stronach 42-44. Nie mam uwag merytorycznych do zaproponowanej metodyki, jednak uważam, że ze względu na szeroki zakres zrealizowanych zadań badawczych wskazane byłoby zamieszczenie w rozprawie schematu ilustrującego zakres przeprowadzonych prac. Ułatwiłoby to ocenę przyjętych ram zadań badawczych, a zwłaszcza założony logiczny ciąg przyczynowo-skutkowy i ich komplementarność.

Treść części badawczej rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Szymury (rozdziały 4-6) obejmuje zaplanowanie i przeprowadzenie badań naukowych dotyczących wpływu wybranych warunków i parametrów napawania procesem 114 na budowę strukturalną i właściwości eksploatacyjne napoin wykonanych z dodatkiem węgla wolframu oraz interpretację ich wyników. Jednym z efektów prac jest model matematyczny procesu napawania lukowego określający istotność wpływu natężenia i odległości dyszy podawania cząstek węgla wolframu (wraz z interakcją) na zawartość (ilość i równomierność) elementów wzmacniających w napoinie. Porównano odporność na zużywanie ściernie typu metal-minerał, twardość, skład chemiczny oraz strukturę warstw napawanych z maksymalną zawartością i równomiernością rozłożenia cząstek węgla wolframu z napoinami bez tych cząstek w zależności od stopnia ich zużycia. Efektem ostatecznym opisanych prac są zalecenia technologiczne przeznaczone do zastosowania w praktyce produkcyjnej.

W podsumowującym rozdziale 5 (tytuł: „Analiza wyników badań”) Autor przedstawił obszerną (strony 111-120) analizę uzyskanych wyników konfrontując je z informacjami dostępnymi w literaturze.

We wnioskach (rozdział 6) Doktorant podkreślił potwierdzenie przyjętej tezy rozprawy doktorskiej i sformułował 6 zasadniczych wniosków, które uznaję za prawidłowe.

Literatura obejmuje 100 pozycji źródłowych, w tym 4 artykuły naukowe, których Doktorant jest współautorem. Na przytoczone źródła literaturowe składają się głównie artykuły anglojęzyczne, a także pozycje książkowe. Wszystkie pozycje ze spisu literatury zostały w pracy zacytowane, oprócz [98], która jest linkiem do internetowego generatora liczb losowych.

Rozprawa napisana jest na bardzo dobrym poziomie językowym, zawiera jedynie nieliczne usterki gramatyczne i interpunkcyjne, co świadczy o dużym zaangażowaniu Autora w prace redakcyjne. Na podkreślenie zasługuje również fakt bardzo dobrego przygotowania tekstu pod względem terminologicznym.

Podczas oceny dysertacji pod względem językowym i edycyjnym napotkałem w niej następujące braki:

- niefortunne sformułowania, na przykład na stronie 3: „...najważniejsze znaczenie ma proces dominujący” (błąd logiczny), a na stronie 16: „Napawanie większą średnicą drutu...” (powinno być: „Napawanie drutem o większej średnicy...”),
- w zakresie terminologii spawalniczej mam dwie uwagi: 1. Autor stosuje termin: „wada” zarówno w znaczeniu: „wada”, jak i „niezgodność”. W pracy wyraz: „niezgodność” występuje jeden raz. 2. Strona 46: „ze stykiem na zakładkę”. Lepiej brzmi: „ze szwem” (można dodatkowo podać metodę wytworzenia szwu).

- rysunek 6: element 5 nie jest jasno opisany (linie wskazują dwa elementy).
- strona 51: brakuje podania symbolu próbki (czyli: II2B) wykonanej z wartościami parametrów, dla których stwierdzono największą wartość funkcji użyteczności.
- strona 74: uważam, że zdanie: „Założono, że osłona dyszy podającej może zostać ustawiona maksymalnie na odległość odpowiadającą przesunięciu dyszy w kierunku uchwytu spawalniczego od końca jeziora napoiny o długość równą połowie średnicy wewnętrznej dyszy podającej.” należało wesprzeć schematem albo chociaż dołączyć odwołanie do rysunku ilustrującego ideę badanego procesu napawania (rys. 3, strona 30).
- tablica 12 powinna zostać umieszczona w rozdziale 4.4.1.3, w którym została przywołana.
- strona 94: odczuwalny jest brak zdjęcia albo schematu stanowiska, na którym wykonano badania odporności na zużycie ściernie.
- strona 103: nieprawidłowy zapis (kolejność) cytowania rysunków w tekście.

W moim odczuciu są to błędy nie mające żadnego wpływu na ocenę rozprawy a wymieniam je jedynie w celu uczulenia Doktoranta na lingwistyczne i edytorskie aspekty przygotowywania tekstów opracowań naukowych.

### **Ocena merytoryczna rozprawy**

Tematyka pracy jest kontynuacją dwóch uzupełniających się i tradycyjnych dla Katedry Spawalnictwa Politechniki Śląskiej trendów badawczych: badań właściwości eksploatacyjnych elementów regenerowanych procesami pokrewnymi spajaniu i badań rozwojowych tych procesów regeneracji.

Doktorant opracował model matematyczny procesu napawania łukowego drutem proszkowym samoosłonowym z jednoczesnym podawaniem cząstek węgla wolframu do jeziora napoiny, ujmujący wpływ natężenia podawania cząstek węgla wolframu i odległości dyszy podawania cząstek węgla wolframu (z członem interakcyjnym) na zawartość elementów wzmacniających w napoinie i zbadał wpływ tych parametrów na równomierność rozłożenia cząstek. Następnie porównał odporność na zużywanie ściernie typu metal-minerał, twardość, skład chemiczny oraz morfologię warstw napawanych z maksymalną zawartością i równomiernością rozłożenia cząstek węgla wolframu z napoinami bez tych cząstek w zależności od stopnia ich zużycia. Wyniki tych prac badawczych umożliwiły mu sformułowanie zaleceń technologicznych do wykonywania elementów napawanych drutem proszkowym samoosłonowym z jednoczesnym podawaniem cząstek spiekane i kruszonego węgla wolframu.

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. Obszerna analiza wyników badań jest przeprowadzona konsekwentnie, prawidłowo, z odniesieniami do wyników badań z literatury i zakończona zaleceniami w postaci instrukcji technologicznej napawania.

Praca zasługuje na wyróżnienie pod względem opracowania wyników badań. Autor stosuje szereg technik matematycznych i statystycznych (m.in. optymalizację metodą funkcji użyteczności, wieloetapowe planowanie eksperymentu) udowadniając bardzo dobre przygotowanie do prowadzenia prac badawczych.

### **Uwagi dyskusyjne**

Podczas lektury rozprawy nasunęło mi się kilka wątpliwości i pytań, na które chciałbym otrzymać odpowiedzi.

1. Jaki program wykorzystano do analiz statystycznych? Szata graficzna rysunku 11 sugeruje, że był to pakiet Statistica.
2. Czy podczas procesu zauważono cytowaną w pracy dwukrotnie zależność między rozmiarem (długością) jeziora napoiny i ilością wprowadzanych do niego cząstek węgla wolframu?
3. Czy na wstępnym etapie planowania prac badawczych rozważano zastosowanie planów badań rozpoznawczych (np. Placketta-Burmana)?
4. Opis weryfikacji dokładności predykcyjnej opracowanego modelu nie jest jednoznaczny (rozdział 4.4.2, strona 87). Przede wszystkim należało podać (przypomnieć) kryterium optymalizacji, np. w nawiasie. Poza tym zdanie: „Na podstawie tego zdjęcia i wzoru (6) wyznaczono zawartość cząstek węgla wolframu w napoinie, która wynosi 51,66%” jest dla mnie niejasne. Rozumiem, że idea weryfikacji modelu jest następująca: obliczenie wartości zmiennych niezależnych, dla których zmienna zależna osiąga wartość maksymalną, wykonanie napoiny z wartościami parametrów w ten sposób wyznaczonych i porównanie wyniku z eksperymentu z wynikiem uzyskanym z modelu. W takiej sytuacji należy podać różnicę (rozstęp) albo różnicę procentową między tak określonymi wartościami.
5. Tablica 31: Czy i jaką wartość współczynnika sprawności cieplnej zastosowano podczas obliczania ilości wprowadzonego ciepła?

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

## **Wniosek końcowy**

Recenzowana rozprawa doktorska jest wartościowym i oryginalnym osiągnięciem naukowym Pana mgr. inż. Michała Szymury. Doktorant zaprezentował w recenzowanej dysertacji komplementarne i merytorycznie dobrze uzasadnione wyniki badań i analiz, zastosował nowoczesne metody badawcze. Wysoko oceniam również szczegółowy przegląd literatury bardzo dobrze opisujący stan wiedzy dotyczący poruszanej w rozprawie tematyki oraz formę prezentacji swojego osiągnięcia.

Opiniowana praca doktorska spełnia w pełni wymagania Ustawy z dnia 20.07.2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z roku 2018 pozycja 1668) oraz wcześniejsze regulacje prawne i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała Szymury do publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

Sporządził:

*Dariusz Fyduć*