

Dr hab. inż. Jerzy Smolik, prof. ITeE-PIB  
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy  
26-600 Radom, Pułaskiego 6/10

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza BARTKOWSKIEGO pt. „Kompozytowe warstwy powierzchniowe w układzie osnowa metaliczna – faza międzywęzłowa napawane laserowo na niskowęglowych stalach konstrukcyjnych”**

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza BARTKOWSKIEGO pt. *„Kompozytowe warstwy powierzchniowe w układzie osnowa metaliczna – faza międzywęzłowa napawane laserowo na niskowęglowych stalach konstrukcyjnych”*. Podstawą formalną wykonania recenzji było pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, Pana dra hab. inż. Olafa Ciszaka, z dnia 31 marca 2015 roku.

### **1. Charakterystyka rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter interdyscyplinarny i dotyczy w mojej ocenie dwóch grup zagadnień, tj. problematyki budowy i eksploatacji maszyn oraz problematyki inżynierii powierzchni. W zakresie zagadnień dotyczących budowy i eksploatacji maszyn Doktorant skoncentrował się na kształtowaniu właściwości eksploatacyjnych elementów narzędzi rolniczych, z uwzględnieniem nowoczesnych opracowań materiałowych warstwy wierzchniej. Działania te dotyczą kształtowania trwałości narzędzi pracujących w glebie, które narażone są na działanie różnych czynników niszczących w tym np. jednoczesnego działania obciążeń tribologicznych i korozyjnych. W zakresie zagadnień inżynierii powierzchni Doktorant skoncentrował się natomiast na projektowaniu warstw powierzchniowych o charakterze kompozytowym wytwarzanych metodą napawania laserowego, ze szczególnym uwzględnieniem opisu zjawisk zachodzących w materiale powłoki i mechanizmów tworzenia się poszczególnych faz. Tematyka rozprawy, jak również postawiona teza, dotyczą zagadnień aktualnych i istotnych dla rozwoju obu wymienionych obszarów wiedzy.

W sformułowanej tezie pracy Doktorant wyraża pogląd, że *„jest możliwe wytworzenie na niskowęglowych stalach konstrukcyjnych kompozytowych warstw powierzchniowych w układzie Stellite-6 – faza międzywęzłowa, o mikrostrukturze, składzie chemicznym i właściwościach użytkowych zbliżonych do węglików spiekanych”*. Wyniki prac badawczych, zaplanowanych w celu weryfikacji postawionej tezy obejmują zarówno etap wyboru najlepszego rozwiązania materiałowego warstwy wierzchniej, jak i etap wyboru parametrów technologicznych napawania laserowego, umożliwiających ich wytworzenie praktyczne. Tego typu działania należą do bardzo efektywnych działań w obszarze inżynierii powierzchni i zasługują na szczególne podkreślenie. Wyniki uzyskane przez Doktoranta stanowią istotne rozszerzenie wiedzy w zakresie możliwości praktycznego wykorzystania rozwiązań inżynierii powierzchni.

Jednocześnie tak sformułowana teza i cel pracy wymagały od Doktoranta zaplanowania i realizacji przemyślanej metodyki badawczej. W obu obszarach wiedzy, tj. problematyki budowy i eksploatacji maszyn oraz problematyki inżynierii powierzchni Autor przeprowadził szeroką analizę literaturową. Doktorant wykazał się znajomością nowoczesnych, wysoko zaawansowanych metod badania materiałów, a także potwierdził umiejętność praktycznego ich wykorzystania. Dokonał szerokiej analizy zjawisk istotnych w procesach komponowania

powłok wytwarzanych metodą napawania laserowego, na podstawie której opracował model tworzenia się poszczególnych faz w warstwie kompozytowej Stellite-6/60%WC wytwarzanej metodą napawania laserowego, w tym węglików wtórnych. Potwierdził także umiejętność analizowania uzyskanych wyników i formułowania wniosków.

## **2. Ocena metodyczna rozprawy**

### **Struktura rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera 126 stron, łącznie z wykazem literatury obejmującym 125 pozycji. Treść rozprawy została podzielona na 7 rozdziałów głównych wraz z licznymi podrozdziałami. Treść poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów w pełni odpowiada ich tytułom.

### **Terminologia**

Recenzowana rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem z użyciem poprawnej terminologii i wydana została na dobrym poziomie edycyjnym.

### **Styl i ortografia**

Styl i ortografię recenzowanej rozprawy należy uznać za dobre. Drobne błędy interpunkcyjne oraz sporadyczne stosowanie samogłosek „a” i „e” zamiast „ą” i „ę” nie utrudniają czytania tekstu rozprawy i należy je uznać jako drobne błędy edytorskie.

### **Literatura**

Spis literatury przygotowany został poprawnie w układzie chronologicznym przywoływania poszczególnych pozycji w tekście. Obejmuje on 125 pozycji krajowych i międzynarodowych, związanych z poszczególnymi zagadnieniami omawianymi w rozprawie.

### **Ilustracje i tablice**

Wszystkie ilustracje i tabele zamieszczone w rozprawie są niezbędne i przygotowane starannie. W każdym przypadku wykorzystywania informacji literaturowych podpisy pod ilustracjami zawierają odnośnik wskazujący pozycję literaturową w spisie literatury, stanowiącą informację źródłową, co pozwala czytającemu rozszerzyć informacje, jak również wskazuje na dużą poprawność Autora w korzystaniu z literatury.

## **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

Rozprawa stanowi spójne opracowanie naukowe, począwszy od zidentyfikowania problemu naukowego w ściśle określonym obszarze badawczym, poprzez dobór metodyki badawczej i wykonanie zaplanowanych badań eksperymentalnych, aż po prezentację uzyskanych wyników, ich dyskusję i wnioskowanie.

Jak stwierdzono w części 2 recenzji, dotyczącej oceny metodycznej pracy doktorskiej, treść rozprawy została podzielona na 7 rozdziałów głównych wraz z licznymi podrozdziałami. Dodatkowo praca zawiera streszczenia w języku polskim i języku angielskim, wykaz użytych pojęć oraz spis literatury obejmujący 125 pozycji.

**W rozdziale 1. Wstęp** Doktorant przedstawił wagę podjętej tematyki badawczej, tj. „zwiększania trwałości narzędzi rolniczych pracujących w glebie”. Wskazał przy tym na społeczne (masowość użycia), ekonomiczne (zwiększanie trwałości narzędzi rolniczych), jak również naukowe aspekty potrzeby prowadzenia takich działań. W dalszej części rozdziału Doktorant opisał problemy występujące w podjętej przez niego tematyce badawczej, wskazując przy tym na problemy w projektowaniu rozwiązań materiałowych warstwy wierzchniej (ze względu na bardzo duże zróżnicowanie warunków glebowych), jak również na problemy dotyczące badania właściwości przeciwzużyciowych projektowanych warstw i powłok. Przedstawione informacje w pełni uzasadniają wagę podjętego zagadnienia, jakim jest zwiększanie trwałości narzędzi rolniczych pracujących w kontakcie z glebą i narażonych na intensywne zużycie tribologiczne. Należy również podkreślić, że wskazywane przez Doktoranta problemy są bardzo obszernie wsparte literaturą przedmiotu, co wskazuje na bardzo dobre rozpoznanie literaturowe podjętego zagadnienia.

**W rozdziale 2 Stan zagadnienia** przedstawiono stan wiedzy w dwóch obszarach istotnych dla tematyki pracy doktorskiej, tj. problematyki dotyczącej używania się narzędzi rolniczych pracujących w glebie oraz zagadnień dotyczących możliwości wykorzystania metody napawania laserowego do wytwarzania powłok istotnie poprawiających trwałość narzędzi rolniczych.

W pierwszej części rozdziału (podrozdział 2.1), dotyczącej problematyki używania się narzędzi rolniczych pracujących w glebie, Doktorant omówił wykorzystywane aktualnie sposoby poprawy ich trwałości, dokonał analizy metod badania odporności na zużycie, a także wskazał na problemy w tym zakresie.

W drugiej części rozdziału (podrozdziały 2.2 – 2.4) Doktorant przedstawił szeroką analizę możliwości wykorzystania metody napawania laserowego do wytwarzania powłok istotnie poprawiających trwałość narzędzi rolniczych, w tym: dokonał ciekawej analizy budowy i działania różnych typów laserów (rozdział 2.2), omówił podstawy praktyki technologicznej wytwarzania powłok metodą napawania laserowego (rozdział 2.3), a także przedstawił obszerną analizę dotyczącą aktualnych możliwości, jak również nowych kierunków badawczych podejmowanych w zakresie komponowania powłok z wykorzystaniem metody napawania laserowego (rozdział 2.4). Autor rozprawy w sposób zwięzły i precyzyjny przedstawił zarówno aspekty techniczne i technologiczne związane z metodą napawania laserowego, jak również omówił możliwości w kształtowaniu mikrostruktury i właściwości wytwarzanych powłok. Wskazuje to na dobre rozeznanie Doktoranta w obszarze metody napawania laserowego, jak również na umiejętność analizowania i prezentowania możliwości, jakie niosą w sobie techniki laserowe.

Podsumowaniem rozdziałów 1 i 2 jest **rozdział 3 Analiza stanu zagadnienia**. W swojej treści rozdział ten jest skrótem informacji zawartych w rozdziale 2. Jednocześnie w rozdziale tym Doktorant podkreśla złożony charakter pracy doktorskiej i wskazuje jej cel poznawczy i użyteczny.

**W rozdziale 4 Cel, teza i zakres pracy** Autor wskazuje na duże możliwości metody napawania laserowego w zakresie kształtowania właściwości materiałów, które mogą być wykorzystane na narzędzia rolnicze pracujące w glebie, a następnie ponownie przedstawia cele pracy (poznawczy i użyteczny) oraz formułuje tezę pracy, która brzmi: *„Jest możliwe wytworzenie na niskowęglowych stalach konstrukcyjnych kompozytowych warstw powierzchniowych w układzie Stellite-6 – faza międzywęzłowa, o mikrostrukturze, składzie chemicznym i właściwościach użytkowych zbliżonych do węglików spiekanych”*.

Z racji tego, że rozdziały 3 i 4 uzupełniają się wzajemnie, jak również pewne informacje są powtórzone w obu z nich (np. cele pracy) wydaje się, że powinny one zostać połączone i powinny stanowić jeden rozdział prezentujący cel, tezę i zakres podjętych prac wraz z uzasadnieniem.

**W rozdziale 5. *Metodyka badań***, Autor scharakteryzował materiał podłoża wybrany do badań oraz metodykę przygotowania próbek, opisał sposób wytworzenia warstw powierzchniowych. Autor dokonał również wyboru i opisał metody badań materiałowych potrzebnych do oceny właściwości wytworzonych powłok, w tym: mikrostruktury, struktury fazowej – dyfrakcja rentgenowska, składu chemicznego – metoda EDS, odporności korozyjnej, odporności na zużycie przez tarcie – metoda Amslera (klocek – tarcza) oraz badań eksploatacyjnych w warunkach polowych.

Po przeczytaniu rozdziału 5 nasuwają się trzy podstawowe pytania:

- dotyczy: str.44  
Dlaczego użyto dwóch różnych materiałów próbek badawczych: do badań laboratoryjnych stal S355, natomiast do badań eksploatacyjnych stal B27 ?
- dotyczy: str.48  
Dlaczego na próbkach i redlicach zastosowano różne sposoby nanoszenia powłok napawanych laserowo ? Czy fakt ten uwzględniono w porównaniu wyników badań ?
- dotyczy: str.56  
Dlaczego w badaniach odporności na zużycie ściernie przeprowadzono w skojarzeniu ze stalą 100Cr6 ? Dlaczego testów tribologicznych nie prowadzono w obecności luźnych cząstek ścierniwa w węzle tarcia „imitujących” w jakimś zakresie warunki rzeczywiste oddziaływania gleby ?

**Rozdział 6 *Wyniki badań***, obejmuje dwa podrozdziały 6.1 i 6.2. Rozdział 6.1 zawiera wyniki badań powłok otrzymanych na bazie cząstek SiC oraz B<sub>4</sub>C, ograniczone do analizy mikroskopowej i wskazujące na brak możliwości efektywnego wykorzystania tego typu cząstek do wytwarzania powłok metodą napawania laserowego, w celu zwiększania trwałości narzędzi rolniczych pracujących w glebie (porowatość, pęknięcia, niejednorodność mikrostruktury i składu chemicznego). Rozdział 6.2 zawiera wyniki badań powłok otrzymanych na bazie cząstek WC i składa się z kolejnych 9 podrozdziałów 6.2.1 – 6.2.9, w których przedstawiono wyniki badań uzyskane zgodnie z metodyką badawczą przyjętą przez Doktoranta w rozdziale 5.

Na podkreślenie zasługuje sposób prezentacji wyników badań mikrostruktury (rozdział 6.2.2), struktury fazowej (rozdział 6.2.4) oraz składu chemicznego (rozdział 6.2.5). Wszystkie trzy grupy badań przedstawione zostały w przemyślany i przejrzysty sposób, a także uzupełnione są oceną analityczną uzyskanych wyników. Bardzo dobrze należy ocenić sposób prezentacji oraz interpretację wyników badań składu chemicznego. Uzyskane wyniki Autor w bardzo elegancki sposób połączył i przedstawił graficznie razem z wynikami obserwacji mikroskopowych, dokonanych z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego. Ułatwiło to znakomicie interpretację wyników badań składu chemicznego. Świadczy to o wiedzy i doświadczeniu zdobytych przez Doktoranta w prezentowaniu tego typu wyników badań. Należy zwrócić również uwagę na bardzo ciekawą i moim zdaniem słuszną interpretację tych wyników oraz sformułowane w tym zakresie wnioski – dotyczące

intensyfikowania procesu wydzielania węglików wtórnych ( $M_6C$ ,  $M_7C_3$ ) wraz ze wzrostem mocy wyładowania laserowego.

Podczas czytania części badawczej rozprawy i analizy opisanych w niej wyników pojawia się jednak szereg pytań bardziej szczegółowych, wymagających dyskusji i wyjaśnienia:

- Jaką wartość błędu pomiarowego należy przyjąć dla wyników badań składu chemicznego – rys. 76 – 79 ?
- Jak należy tłumaczyć, ponad dwukrotne różnice w twardości kolejnych punktów pomiarowych, w rozkładach twardości powłoki Stellite-6/60%WC – 550W /340 mm/min, pokazanych na rys. 83 i 85 ?  
Jeśli te różnice wynikają z intensywności przetopienia cząstek WC to dlaczego nie obserwujemy ich również przy tej samej mocy lasera ale różnej prędkości skanowania (rys.85). Jeśli natomiast różnice te wynikają z rozmieszczenia cząstek w osnowie wynikających z prędkości skanowania, to dlaczego brak jest zróżnicowania twardości poszczególnych punktów pomiarowych dla mniejszej mocy lasera, np.400W (rys.83).
- W rozdziale 6.2.8 Doktorant stwierdza, że: cytat: „... próbki były ważone i ponownie montowane na urządzeniu do przeprowadzania próby tarcia ...”. Dlaczego taką metodykę zastosowano ? Czy wielokrotne „docieranie” próbki nie wprowadzało zbyt dużej niepewności uzyskiwanych wyników ? Czy nie należało wykorzystać partii próbek, gdzie dla każdej próbki czas testu byłby inny ?
- Na rys.93/str.105 przedstawiono wyniki badań ubytku masy w funkcji czasu testu tarcia suchego. Na rysunku brak jest informacji, jaka była prędkość skanowania i wydajność podawania proszku. Na podstawie informacji podanej na str.106; wers:8, należy przyjąć, że wyniki testów tribologicznych pokazane na rys.92 odnoszą się do prędkości skanowania 400mm/min. Wszystkie pomiary mikrotwardości (rys. 82 – 85) wykonano natomiast dla powłok otrzymanych przy prędkości skanowania 340mm/min. W efekcie nie ma możliwości odniesienia wyników testu tribologicznego do wyników mikrotwardości pokazanych na rysunkach 82 – 85. Dlaczego do badań twardości oraz testów tribologicznych wybrano próbki otrzymane przy różnych parametrach ? Jak można porównać uzyskane wyniki testów tarcia z wynikami twardości powłok ?
- Z informacji podanych w rozdziale 6.2.9 str.108 wynika, że do badań eksploatacyjnych wybrano powłokę Stellite-6/60%WC – 550 W-400 mm/min-15.36 g/min.  
Zgodnie z tabelą 10 lepszą odporność korozyjną ma powłoka Stellite-6/30%WC;  
Zgodnie z tabelą 9 lepszą odporność korozyjną ma powłoka wytworzona przy użyciu mocy wiązki 400 W;  
Zgodnie z tabelą 11 lepszą odporność korozyjną zarejestrowano dla powłoki wytworzonej przy prędkości podawania proszku 5.12 g/min niż 15.36 g/min .  
Pojawia się pytanie: dlaczego badaniom eksploatacyjnym w warunkach polowych nie poddano również powłoki o najlepszej odporności korozyjnej ? Tym bardziej, że Doktorant zwraca uwagę na istotność odporności korozyjnej narzędzi do pracy w glebie: rozdział 2.1; str.14-15. Pozwoliłoby to sprawdzić, która z właściwości: odporność na zużycie ściernie, czy też odporność korozyjna ma większe znaczenie

w kształtowaniu trwałości redlic. Ważne wydaje się również pytanie dlaczego nie przeprowadzono badań eksploatacyjnych w glebie o różnej wilgotności ?

- Z informacji podanych w rozdziale 6.2.9 str.109 wynika, że do badań eksploatacyjnych wybrano cytat: str.109; wers 1 „... *serię redlic z napawanymi na dziobach warstwami kompozytowymi ...*”. Jak wynika z informacji pokazanych na rysunku 101, w obu przypadkach , tj. dla narzędzia bez powłoki (rys.101a) i narzędzia z powłoką (rys.101b) różnica w stopniu zużycia dziobów redlic była niewielka. Znacząca różnica w zużyciu jest widoczna w górnej części narzędzia gdzie powłoka nie była nakładana. Jak należy tłumaczyć taki mechanizm zużywania się redlic bez powłoki na dziobach ?

Bardzo proszę Doktoranta o odniesienie się do wymienionych kwestii.

**Rozdział 7 Podsumowanie i wnioski**, stanowi merytoryczne podsumowanie zrealizowanych prac badawczych, jak również odniesienie się do przyjętych celów pracy oraz postawionej tezy. W pierwszej części Posumowania Doktorant przeprowadził bardzo ciekawą dyskusję dotyczącą opisu zjawisk zachodzących w materiale powłoki podczas wytwarzania warstwy kompozytowej Stellite-6/60%WC metodą napawania laserowego. Efektem przeprowadzonej dyskusji jest zaproponowany przez Doktoranta model tworzenia się poszczególnych faz w warstwie kompozytowej Stellite-6/60%WC wytwarzanej metodą napawania laserowego, w tym węglików wtórnych. Opis zjawisk oraz zaproponowany model tworzenia się poszczególnych faz w warstwie kompozytowej należy uznać jako oryginalne osiągnięcie i wkład Doktoranta w rozwój inżynierii materiałowej.

Na podstawie uzyskanych w pracy wyników Doktorant sformułował 11 „wniosków”, które w mojej opinii należy raczej nazwać stwierdzeniami podsumowującymi uzyskane wyniki. Odnosząc się do sformułowanych wniosków, proszę Doktoranta o krótkie odniesienie się do dwóch z nich, tj.:

Wniosek 9: Jak efektywne według Doktoranta było zwiększenie trwałości badanych narzędzi rolniczych uzyskane w wyniku zastosowanej obróbki powierzchniowej (np. wydłużenie czasu pracy, zmniejszenie kosztów pracy, itp.) ?

Wniosek 11: Jak należy szacować koszt nowego narzędzia (z powłoką napawaną laserowo) w stosunku do narzędzia standardowego ?

Chcę podkreślić, że wszystkie zamieszczone w recenzji uwagi i pytania, są w dużej mierze wynikiem skali problemów podjętych przez Doktoranta i nie zmieniają one w istotny sposób mojej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.


#### **4. Wnioski końcowe**

Na podstawie dokonanej oceny rozprawy doktorskiej mgra inż. Dariusza BARTKOWSKIEGO pt: „*Kompozytowe warstwy powierzchniowe w układzie osnowa metaliczna – faza międzywęzłowa napawane laserowo na niskowęglowych stalach konstrukcyjnych*”, przygotowanej pod opieką naukową Dra hab. inż. Andrzeja Młynarczaka, prof. nadzw. Politechniki Poznańskiej stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autor wykazał się szeroką wiedzą w zakresie

projektowania i badania rozwiązań materiałowych inżynierii powierzchni, a także analizowania uzyskanych wyników i formułowania wniosków.

**W mojej opinii wymieniona rozprawa doktorska w pełni odpowiada warunkom stawianym w ustawie o stopniach i tytule naukowym Dz. U. Nr 65 z dnia 14 marca 2003 roku, art. 13.1 i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie Kandydata do kolokwium doktorskiego.**

Radom, 02 maja 2015



.....  
Dr hab. inż. Jerzy Smolik, prof. ITeE-PIB