

Białystok, dn. 16.05.2018 r.

Dr hab. inż. Małgorzata Grądzka-Dahlke, prof. PB  
Politechnika Białostocka  
Wydział Mechaniczny  
ul. Wiejska 45c  
15-351 Białystok

## Ocena

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Kowalskiego**

**pod tytułem: "Polepszenie trwałości elementów ze stali konstrukcyjnej narażonych na zużycie tribokorozyjne w środowisku morskim"**

*Podstawą do przygotowania niniejszej recenzji jest pismo Pana Dziekana Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku, prof. dr hab. inż. Janusza Zielińskiego, z dnia 8 maja 2018 r., informujące o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Kowalskiego.*

### **1. Uwagi ogólne**

Opiniowana praca została wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Ewy Kasprzyckiej, prof. PW, promotorem pomocniczym był dr inż. Jacek Wernik. Rozprawa doktorska dotyczy badań różnorodnych powłok, nanoszonych na powierzchnię stali konstrukcyjnej C45 na jej odporność na zużycie tribochemiczne w warunkach korozyjnych w aspekcie niezawodności elementów pracujących w środowisku morskim.

### **2. Przegląd treści rozprawy**

Recenzowana rozprawa napisana jest w języku polskim. Liczy 131 stron, zawiera 56 rysunków i 14 tabel. Składa się z 6 rozdziałów poprzedzonych wprowadzeniem, zakończona jest wnioskami, zawiera bibliografię, na którą składają się 184 pozycje cytowanej literatury (nie wskazano publikacji z udziałem autora) oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Układ rozprawy jest przejrzysty i logiczny, z właściwą proporcją zawartości i objętości pracy.

W „Genezie problemu” autor w sposób syntetyczny uzasadnia wybór tematyki rozprawy, wskazując na dotychczasowe rozwiązania problemu zniszczeń korozyjnych i tribokorozyjnych urządzeń pracujących w środowisku morskim.

W rozdziale drugim przedstawiono przegląd aktualnych danych literaturowych, dotyczących czynników determinujących degradację stali w środowisku morskim, w zakresie niezbędnym do sformułowania zadań do realizacji w ramach pracy. Przedstawiono w nim podstawową wiedzę na temat korozji, głównie morskiej, tribokorozji i metod jej interpretacji, oraz na temat powłok i warstw ochronnych.

W rozdziale 3 sformułowano hipotezę, cel i zakres pracy. Główny cel dotyczy „badań właściwości tribokorozyjnych wytworzonych warstw i powłok, aby zidentyfikować zakres ich stosowania w warunkach jednoczesnych oddziaływań tarcia i korozji”.

W kolejnym rozdziale scharakteryzowano materiały przyjęte do badań oraz metodykę badawczą. Zaplanowano badania porównawcze trzech grup modyfikacji powierzchni stali konstrukcyjnej. Pierwszą grupę stanowiły powłoki galwaniczne, drugą – warstwy azotowane i trzecią – warstwy hybrydowe Cr/CrN otrzymane metodą PVD. Analizowano mikrostrukturę, skład fazowy i twardość powłok. Przeprowadzono także ocenę odporności korozyjnej i tribokorozyjnej badanych materiałów.

Rozdział piąty zawiera wyniki przeprowadzonych badań, przedstawione głównie w postaci ilustracji, w tym dyfraktogramów powierzchni, zdjęć mikroskopowych, rozkładów twardości, krzywych polaryzacji oraz wykresów zmian potencjału w czasie badań tribokorozyjnych i profili śladów zużycia.

Komentarz do wyników zamieszczono w kolejnym rozdziale „Dyskusja wyników badań”. Zawarte są w nim najważniejsze konstatacje autora dotyczące zrealizowanych badań.

W ostatnim rozdziale przedstawione zostały najważniejsze wnioski wynikające z realizacji pracy.

### **3. Ocena merytoryczna**

Rozprawa doktorska dotyczy problematyki badawczej z zakresu budowy i eksploatacji maszyn, a jej zasadniczym celem było zbadanie możliwości polepszenia trwałości elementów ze stali konstrukcyjnej, narażonych na zużycie tribokorozyjne. Tematyka jest wciąż aktualna i ważna z punktu widzenia eksploatacji urządzeń w środowisku morskim.

Część przeglądowa jest dobrze napisana, wspierana właściwie dobranymi odwołaniami literaturowymi. Dla weryfikacji przedstawionej hipotezy zaplanowano i

zrealizowano szeroki program badawczy, obejmujący badania szeregu różnych modyfikacji powierzchni i ich wpływ na właściwości tribokorozyjne.

**Uwagi:**

1. Wybór konkretnych metod modyfikacji powierzchni wydaje się niedostatecznie uzasadniony. O ile zasadne jest porównanie cynkowania galwanicznego z Zn-Ni i z dodatkiem magnezu, to wybór azotowania, a jeszcze bardziej powłok PVD – już mniej.
2. Przy formułowaniu celu autor pisze, że weryfikacja wytworzonych warstw i powłok powinna służyć identyfikacji zakresu ich stosowalności. Podanie takiego zakresu w podsumowaniu mogłoby uzasadnić wybór powłok, szczególnie PVD.
3. W pracy brak opracowania statystycznego wyników. Na podstawie zestawionych danych trudno odgadnąć, dla ilu próbek były przeprowadzone badania, czy różnice są statystycznie istotne.
4. W temacie pracy jest „podwyższenie trwałości”. Na podstawie uzyskanych wyników trudno jest przewidzieć, jak będzie przebiegało niszczenie materiałów w długich okresach obserwacji (pojedynczy test trwał 0,5 czy 1 godz.?).
5. Przy charakteryzowaniu warstw nie uwzględniono pomiaru chropowatości powierzchni (jedynie przy nanoszeniu powłok PVD wspomniano, że próbki poddano polerowaniu). Wydaje się, że ten parametr powinien mieć istotne znaczenie przy badaniu odporności korozyjnej.
6. Jeżeli autor oceniał parametry warstwy powierzchniowej (skład fazowy, twardość), to warto je było zestawić z wynikami badań właściwości użytkowych.
7. Miejscami w opisie brak jest konsekwencji: w rozdziale 4.7 autor pisze, że badania tribokorozyjne prowadzono w układzie pin-on-plate przy ruchu posuwisto-zwrotnym kulki. Natomiast w zestawieniu wyników (tab. 11, 13, 14) podana jest liczba obrotów (czego?).
8. W tabeli 12 „Zestawienie wyników badania tribokorozyjnego...” podano warunki testu: suche i OCP – bez wyjaśnienia. Czy tribokorozyję badano również przy tarcu suchym?
9. Autor pisze w podsumowaniu rozważań w „Dyskusji”, że celowe są dalsze badania. Warto także uwzględnić mikroskopowe obserwacje śladów tarcia, które mogłyby wnieść wiele do merytorycznej oceny mechanizmów zużycia w warunkach tribokorozyji.

W konkluzji tych rozważań uważam, że pomimo uwag cel pracy został osiągnięty. Zaplanowano szeroki program badawczy. Należy podkreślić dobre przygotowanie i predyspozycje autora do pracy eksperymentalnej. W badaniach zostały wykorzystane najnowocześniejsze metody i narzędzia badawcze.

Praca jest napisana starannie pod względem edytorskim. Wyniki badań przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej w sposób przejrzysty ilustrują obserwowane tendencje. Można znaleźć jednak pojedyncze błędy gramatyczne (np. „dokonano wyboru do badań powłoki galwanicznej” – str. 108) i interpunkcyjne – głównie błędne stosowanie myślnika zamiast łącznika: „powłoka cynkowo-niklowa”, „oddziaływania korozyjno-mechaniczne” – ze spacjami (np. str. 64, 65), drobne pomyłki („przewodność elektryczna ... jest przyczyną dużej zawartości soli” – czy skutkiem? str. 22), które nie wpływają jednak na wartość merytoryczną pracy.

#### 4. Wniosek końcowy

Na podstawie przedłożonej opinii stwierdzam, że mgr inż. Marcin Kowalski wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a recenzowana rozprawa doktorska, zatytułowana "Polepszenie trwałości elementów ze stali konstrukcyjnej narażonych na zużycie tribokorozyjne w środowisku morskim", spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Naukową Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku. Uważam, że praca ta może być podstawą do nadania mgr inż. Marcinowi Kowalskiemu stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.



.....  
(Małgorzata Grądzka-Dahlke)