

Dr hab. inż. Mariusz Deja, profesor uczelni

Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Instytut Technologii Maszyn i Materiałów
Zakład Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji

ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
mariusz.deja@pg.edu.pl
tel.: 608-281-567

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Marty Buszko

Promotor: dr hab. inż. Alicja Krella, prof. IMP PAN

Tytuł rozprawy doktorskiej:

Wpływ intensywności obciążeń erozyjnych wywołanych
cząstkami stałymi w środowisku wodnym na proces
niszczenia wybranych stali konstrukcyjnych

Gdańsk, lipiec 2022



1. Uwagi wstępne

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo z-cy Dyrektora ds. naukowych Instytutu Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk, dr. hab. Marcina Lackowskiego, prof. IMP PAN, z dnia 5 maja 2022 r. wynikające z uchwały Rady Naukowej Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk oraz dołączony wydruk rozprawy doktorskiej.

Tytuł rozprawy doktorskiej: Wpływ intensywności obciążeń erozyjnych wywołanych cząstkami stałymi w środowisku wodnym na proces niszczenia wybranych stali konstrukcyjnych.

Autor rozprawy doktorskiej: mgr inż. Marta Buszko.

Promotor: dr hab. inż. Alicja Krella, prof. IMP PAN.

2. Tematyka rozprawy

Podjęta tematyka rozprawy doktorskiej jest ważna w aspekcie naukowym oraz przemysłowym. Proces erozji charakteryzuje się dużą złożonością podczas cyklicznego uderzenia cząstek stałych o erodowaną powierzchnię znajdującą się w ciekłym medium. Wiedza na temat intensywności i charakteru procesu erozji jest niezbędna do właściwego projektowania, wytwarzania i funkcjonowania komponentów mechanicznych pracujących w określonych warunkach i środowisku. Czynniki badane w pracy, tj. prędkość i kąt uderzenia, mikrostruktura i właściwości mechaniczne badanych materiałów oraz parametry struktury geometrycznej powierzchni są kluczowe w badaniach erozyjnych. Prawidłowy dobór materiału i warunków pracy elementów narażonych na erozję, pozwalają na wydłużenie czasu pracy zaawansowanych technologicznie urządzeń funkcjonujących w środowisku wodnym, a zwłaszcza na uniknięcie awarii przed okresem planowanego remontu. Przeprowadzone przez Doktorantkę analizy i badania bezpośrednio mogą pomóc w spełnieniu tych wymagań poprzez prognozowanie szybkości erozji dla materiału konstrukcyjnego o określonej strukturze i właściwościach mechanicznych.

Doktorantka uwzględniła w swojej pracy doświadczenia innych badaczy z obszaru erozji cząstkami ściernymi w środowisku wodnym. Bardzo dokładny przegląd literatury i ograniczone dane literaturowe odnośnie badań erozyjnych przeprowadzonych na wybranych stalach ferrytyczno-perlitycznych oraz stali ferrytycznej skłoniły ją do realizacji badań w tym zakresie, co było całkowicie uzasadnione.

Opracowana przez Doktorantkę metodyka i uzyskane wyniki eksperymentalne pozwalają prognozować szybkość erozji badanych materiałów dla określonych warunków pracy i czynników wejściowych. Mogą posłużyć jako wytyczne dla badania erozji innych gatunków stali i stopów.

3. Charakterystyka rozprawy

Praca liczy 160 stron i składa się z wykazu oznaczeń, siedmiu rozdziałów oraz wykazu literatury. Po syntetycznym wstępie do tematyki pracy, Autorka przedstawiła w rozdziale 2. przegląd literatury z zakresu erozji cząstkami stałymi w środowisku wodnym (49 stron). W rozdziale trzecim Doktorantka przedstawiła tezy, cel i zakres pracy. Rozdział 4. opisuje metodykę badań eksperymentalnych. Kolejny rozdział 5. przedstawia uzyskane wyniki badań eksperymentalnych. Naukowa dyskusja wyników badań przedstawiona została w rozdziale 6. Wnioski końcowe dotyczące problemu badań erozyjnych zawiera rozdział 7. Wykaz literatury liczy 270 pozycji.

Istotne informacje w aspekcie realizowanego tematu zawarte zostały szczegółowo w następujących rozdziałach:

1. **Wstęp** - z prawidłowym przedstawieniem problematyki badań i zasadności tematu.



2. Erozja cząstkami stałymi w środowisku wodnym – scharakteryzowana w odniesieniu do stosowanych stanowisk badawczych, analizy czynników wpływających na zużycie erozyjne, mechanizmów i modeli zużycia erozyjnego oraz metod zwiększania odporności na zużycie erozyjne. Szczegółowy przegląd literatury pozwolił na wyciągnięcie właściwych wniosków będących podstawą do zaplanowania badań.

3. Tezy, cele i zakres pracy - wynikające bezpośrednio z dogłębnego przeglądu literatury.

4. Metodyka badań - przedstawiona ze szczegółowym opisem zrealizowanych badań, tj. stanowiska badawczego, parametrów badań, czynników stałych i zmiennych, materiałów poddanych badaniom erozji, różnorodnych systemów pomiarowych dobranych właściwie do analizy i pomiaru wybranych wielkości i mikrostruktury.

5. Wyniki badań - gdzie przedstawiono szczegółowo wyniki badań erozji dla wybranych stali: ferrytycznej i dwóch gatunków stali ferrytyczno-perlitycznej, oraz stali austenitycznej, w stanach dostawy i po obróbce cieplnej. Dla wszystkich stanów badanych materiałów Doktorantka wyznaczyła krzywe erozyjne oraz krzywe szybkości erozji. Przeprowadziła pomiary mikrotwardości, parametrów chropowatości Ra i Rz oraz obserwacji mikroskopowych na skaningowym mikroskopie elektronowym.

6. Dyskusja wyników badań - gdzie Doktorantka przedstawiła wpływ poszczególnych czynników na szybkość erozji, twardość końcową stali, głębokość umocnienia i parametry chropowatości Ra i Rz. Istotnym elementem tej części pracy jest krytyczna dyskusja wyników badań w odniesieniu do wyników przedstawionych przez innych autorów. Doktorantka przeprowadziła również walidację wybranych modeli erozyjnych, dla badanych stali przy różnych obciążeniach erozyjnych, odpowiednio wyjaśniając różnice pomiędzy wartościami przewidywanymi, a eksperymentalnymi.

7. Wnioski – z przedstawieniem szczegółowych wniosków dotyczących zrealizowanych badań erozyjnych na wybranych materiałach konstrukcyjnych w środowisku wodnym z cząstkami stałymi oddziałującymi z różną intensywnością obciążeń erozyjnych.

Bibliografia – 270 pozycji literaturowych ściśle związanych z realizowanym tematem.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Doktorantka postawiła na podstawie analizy literatury i własnych wyników badań **trzy tezy pracy związane z wpływem intensywności obciążeń erozyjnych i właściwości mechanicznych na proces niszczenia cząstkami stałymi w środowisku wodnym, w tym na zmiany parametrów chropowatości powierzchni**. Uzyskane wyniki badań niewątpliwie potwierdziły, że prędkość i kąt uderzenia, mikrostruktura i właściwości mechaniczne badanych materiałów wpływają na intensywność niszczenia erozyjnego oraz na wybrane parametry struktury geometrycznej powierzchni warstwy wierzchniej.

Dokładne określenie intensywności niszczenia erozyjnego oraz zmiany parametrów chropowatości możliwe było w wyniku przeprowadzenia szerokiego zakresu badań erozji dla stali ferrytycznej (1.4742), dwóch gatunków stali ferrytyczno-perlitycznej (1.0037 i 1.0577) oraz stali austenitycznej (1.4301) w stanach dostawy i po obróbce cieplnej. Dla wszystkich stanów badanych materiałów Doktorantka wyznaczyła krzywe erozyjne oraz krzywe szybkości erozji. Przeprowadziła pomiary mikrotwardości, parametrów chropowatości Ra i Rz oraz obserwacji mikroskopowych na skaningowym mikroskopie elektronowym. Szeroki zakres badań pozwolił na określenie wpływu poszczególnych czynników na szybkość erozji, twardość końcową stali i głębokość umocnienia. Pozwolił również na określenie zmiany parametrów chropowatości Ra i Rz w funkcji szybkości erozji, wraz z wpływem poszczególnych czynników na chropowatość końcową.

Autorka rozprawy przeprowadziła wnikliwą analizę literatury kierunkowej z krytyczną dyskusją wyników badań w odniesieniu do dostępnych danych literaturowych. Przeprowadziła również walidację wybranych modeli erozyjnych Finniego i Hashisha dla badanych stali w stanie dostawy przy

różnych kątach uderzenia, odpowiednio wyjaśniając różnice pomiędzy wartościami przewidywanymi, a eksperymentalnymi. Podała również zakres stosowalności modeli erozyjnych.

Doktorantka przyjęła prawidłową metodykę badań z właściwym doбором stanowiska badawczego i aparatury pomiarowej wykorzystanej w badaniach eksperymentalnych. Analiza wyników eksperymentalnych i modelowych pozwoliła na wysunięcie prawidłowych wniosków końcowych.

Uwagi do pracy

- 4.1. Przyjęta teza (str. 57) o wpływie intensywności obciążeń i właściwości mechanicznych na proces erozji warstwy wierzchniej odnosi się tylko do zmiany parametrów chropowatości. Parametry chropowatości związane są z powierzchnią materiału, a warstwa wierzchnia obejmuje również obszar podpowierzchniowy, w którym następowała m.in. zmiana mikrotwardości. Dlaczego ta właściwość mechaniczna nie została uwzględniona w przyjętej tezie?
- 4.2. W pracy badano wpływ poszczególnych czynników na zmiany chropowatości. Co wpłynęło na wybór parametrów chropowatości R_a i R_z ? Czy Autorka pracy rozważała uwzględnienie w analizach również innych parametrów chropowatości, które mogłyby lepiej charakteryzować powierzchnię po testach erozyjnych? Powierzchnie te charakteryzowały się dużymi uszkodzeniami miejscowymi, z wyłuszczeniami i kraterami. Wg jakiej normy wyznaczane były parametry R_a i R_z ?
- 4.3. Doktorantka stwierdza na str. 59, że termin prędkość uderzenia został zastąpiony prędkością obrotową ze względu na zastosowane stanowisko badawcze. Takie założenie nie uwzględnia położenia próbki w określonej odległości od osi wału napędowego w zbiorniku zawieszonym. Odległość od osi wału wpływa na prędkość liniową przy stałej prędkości kątowej, a więc i na prędkość uderzenia cząstki stałej. Dlaczego jako prędkość uderzenia nie została przyjęta prędkość liniowa obliczona dla promienia $R = 85$ mm, odpowiadającego położeniu próbki w zbiorniku zawieszonym?
- 4.4. W badaniach zastosowano jako erodenty cząstki stalowe o kształcie kulistym, charakteryzujące się dużą trwałością – brak odkształcenia i pękania. Czy zawieszona była wymieniana w trakcie badań? Czy uzyskane wyniki badań mogą być wskazówką do poprawy odporności erozyjnej również dla erodentów o nieregularnym kształcie, występujących często w naturalnym środowisku pracy urządzeń?
- 4.5. Autorka stwierdza na stronie 88, że „... niezależnie od kąta uderzenia i prędkości obrotowej na całym odcinku pomiarowym wartości mikrotwardości były porównywalne”. Jakie metody statystyczne można by zastosować w celu oceny istotności różnic pomiędzy uzyskanymi wartościami średnimi?
- 4.6. Jeden z wniosków końcowych wskazuje na potrzebę opracowania nowego modelu erozyjnego. Co należałoby zrobić aby taki model wyznaczyć? Czy badania musiałyby być przeprowadzone ponownie, czy wystarczy przeprowadzenie badań uzupełniających?

5. Uwagi edytorskie

Praca napisana została bardzo starannie pod kątem edytorskim i językowym. Rysunki i wykresy są bardzo czytelne i przedstawiają wszystkie niezbędne opisy i informacje. Występują bardzo nieliczne błędy edytorskie, np.:

29₁ : jest „pisaku” powinno być „piasku”;

40 : rys. 2.27 c, jest „kurchym” powinno być „kruchym”;

58 : rys. 4.1, brak osi wału napędowego;

84¹ : jest „erodowanej” powinno być „erodowanej powierzchni”.

6. Uwagi końcowe

Praca napisana została w sposób zrozumiały z uwypukleniem istotnych treści. Podane uwagi mają charakter dyskusyjny i powinny być inspiracją dla Doktorantki do dalszych badań eksperymentalnych i analiz teoretycznych. Mam nadzieję, że będą pomocne przy przygotowywaniu artykułów do renomowanych czasopism naukowych. Uwagi te nie pomniejszają wysokiej wartości merytorycznej opiniowanej pracy.

7. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest wartościową pracą naukową. Doktorantka wykazała się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu właściwych metod naukowych. Umiejętnie wykorzystała również stan istniejącej wiedzy z zakresu procesu erozji cząstkami stałymi w środowisku wodnym. Praca stanowi oryginalny wkład do badań wpływu intensywności obciążeń erozyjnych wywołanych cząstkami stałymi na intensywność niszczenia stali ferrytycznej (1.4742), stali ferrytyczno-perlitycznej (1.0037 i 1.0577) oraz stali austenitycznej (1.4301) w stanach dostawy i po obróbce cieplnej. Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie krzywych erozyjnych oraz krzywych szybkości erozji. W ogólnej ocenie stwierdzam, że Pani mgr inż. Marta Buszko w pełni zrealizowała zadanie badawcze będące przedmiotem rozprawy, której tematyka jest zbieżna z badaniami prowadzonymi na świecie oraz z aktualnymi wymaganiami i oczekiwaniami wielu gałęzi przemysłu maszynowego.

Doktorantka klarownie sformułowała problemy badawcze oraz osiągnęła cele pracy na drodze prawidłowo zaplanowanych i przeprowadzonych badań eksperymentalnych i modelowych. W mojej opinii praca zasługuje na wyróżnienie z uwagi na bardzo szeroki zakres badań i analiz. **Tematyka pracy mieści się w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.**

Pozytywnie oceniam przedstawioną rozprawę doktorską i wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Marty Buszko do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Na podstawie przedstawionej opinii i w świetle dostępnej i znanej mi literatury naukowej stwierdzam, że praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, przewidziane przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki - Dz. U. z 2017 r. poz. 1789; rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora - Dz. U. z 2018 r. poz. 261; ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce - Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 ze zm.) i może stanowić podstawę do nadania jej Autorce stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Gdańsk, 08.07.2022 r.


.....
/Mariusz Deja/