

dr hab. inż. Anna Janina Dolata, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Materiałowej
Katedra Technologii Materiałowych

Katowice, 2023-05-16

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Bartłomieja Przybyszewskiego**
pt. „**Effect of chemical and physical modifications of polyurethane coatings on their hydrophobic and icephobic properties**”.

Praca przedstawiona do publicznej dyskusji Radzie Naukowej
Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej

Promotor: prof. dr hab. inż. Anna Boczkowska

Promotor pomocniczy: dr inż. Rafał Kozera

Podstawa opracowania:

Recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej Pani prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej, na podstawie uchwały Rady Dyscypliny z dnia 20 maja 2022 roku (pismo z dnia 27 marca 2023 roku).

I. Krótka ocena problematyki badawczej

Recenzowana rozprawa doktorska, autorstwa Pana mgr inż. Bartłomieja Przybyszewskiego zrealizowana pod kierunkiem Pani prof. dr hab. inż. Anny Boczkowskiej, dotyczy istotnych zagadnień materiałowo-technologicznych związanych z dobozem parametrów wytwarzania oraz szeroko pojętą charakterystyką hydrofobowych powłok poliuretanowych o podwyższonych właściwościach lodofobowych z przeznaczeniem do zastosowań w przemyśle lotniczym. Tematyka pracy wpisuje się w aktualne kierunki badań służące opracowaniu nowych lub możliwości modyfikacji znanych i komercyjnie stosowanych powłok oraz rozwiązań w zakresie przeciwdziałania skutkom oblodzenia samolotów. To zjawisko jest uznawane za jedno z najniebezpieczniejszych dla statków powietrznych. W ostatnich latach szczególne zainteresowanie skierowane jest na funkcjonalne materiały specjalnego przeznaczenia, do których niewątpliwie należą hydro- i lodofobowe powłoki kompozytowe zawierające nanocząstki krzemionki (SiO₂), stanowiące istotę ocenianego opracowania.

Koncepcja powłok lodofobowych sięga lat 80-tych ubiegłego wieku. W literaturze tematu można znaleźć wiele prac naukowych, jednak trudno o pozycje kompleksowo opisujące procesy i zjawiska zachodzące w czasie tworzenia powłoki lodowej na powierzchni skrzydeł,

kadłuba czy elementów usterzenia pod kątem 3 głównych aspektów, tj. adhezja lodu, opóźnienie zamarzania oraz nawarstwianie się lodu. Należy podkreślić, że wiele prac koncentruje się głównie na wytwarzaniu powłok lodofobowych w skali laboratoryjnej, często pomijając skalowalność opracowywanych metod, co utrudnia transfer wyników do warunków rzeczywistych. W tym aspekcie niemniej istotna jest trwałość opracowywanych powłok, a także ocena wpływu różnych czynników zewnętrznych na stabilność ich struktury i właściwości, które Autor analizuje w swojej pracy.

Uważam, że problematyka naukowo-badawcza przyjęta w opiniowanej rozprawie doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Przybyszewskiego jest wysoce aktualna i posiada duży potencjał aplikacyjny. Możliwość ograniczenia tworzenia warstwy lodu na powierzchni nośnej jest istotna z punktu widzenia poprawy bezpieczeństwa lotu.

II. Charakterystyka pracy i ocena merytoryczna

Przedłożona do recenzji rozprawa została napisana w języku angielskim, którego poprawność - także aspekty techniczne nie budzą zastrzeżeń. Przyjęte przez Autora warunki i założenia związane z realizacją badań zostały dobrane na podstawie doniesień literaturowych oraz wstępnych badań własnych. Mgr inż. Bartłomiej Przybyszewski w swojej pracy doktorskiej skoncentrował się na modyfikacji komercyjnych powłok poliuretanowych wytwarzanych przemysłowo z wykorzystaniem metody natrysku ciśnieniowego. **Przyjął bardzo ambitny cel opracowania trwałych powłok hydrofobowych o podwyższonych właściwościach lodofobowych poprzez jednoczesną modyfikację składu chemicznego związkami silanu lub fluoru, nanocząstkami SiO₂ oraz laserową teksturyzację dostępnych na rynku powłok poliuretanowych stosowanych w przemyśle lotniczym.**

Recenzowana praca ma charakter eksperymentalno-badawczy. Obejmuje łącznie 174 strony, w tym streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz stosowanych symboli i skrótów, spis treści, zestawienia rysunków (*101 pozycji*) i tabel (*21 pozycji*) oraz bardzo obszerną bibliografię (*łącznie 303 cytowane pozycje*). Zasadnicza część pracy obejmuje łącznie 133 strony i została podzielona na siedem głównych rozdziałów, tj. „Wprowadzenie” (*str 13-14*), „Przegląd Literatury” (*str. 14-54*), „Geneza, cel i zakres pracy” (*str. 55-56*), „Badane materiały” (*str. 57-66*), „Metody Badawcze” (*str. 67-76*), „Wyniki” (*str. 77-142*) oraz „Wnioski i uwagi końcowe” (*str. 143-145*).

Autor, po krótkim wprowadzeniu i sformułowaniu istotnych przesłanek do podjęcia tematyki badań, przedstawił obszerny 50 stronicowy przegląd literatury zakończony syntetycznym podsumowaniem. Opiniowana praca doktorska bardzo dobrze wprowadza czytelnika w aktualny stan wiedzy dotyczący zachodzących zjawisk i zagrożeń wynikających z oblodzenia powierzchni, jego potencjalnych konsekwencji, a także systemów i metod ochrony. W dalszej części przeglądu literatury, Doktorant opisuje szczegółowo podstawy teoretyczne zjawisk hydrofobowości oraz lodofobowości, a następnie umiejętnie identyfikuje problemy związane z trwałością omawianych powłok zwracając uwagę na metody poprawy ich funkcjonalnych hydro- i lodofobowych właściwości. Wnikliwe studium literatury pozwoliło Autorowi przedstawić genezę podjęcia tematu pracy doktorskiej, uzasadnić potrzebę

poszukiwania pasywnych rozwiązań prowadzących do ograniczenia zużycia energii, a tym samym do obniżenia kosztów związanych z ochroną przed oblodzeniem. **Szeroki przegląd publikacji naukowych, głównie prac anglojęzycznych, świadczy o bardzo dobrej orientacji Autora w tematyce powłok o właściwościach hydro- i lodofobowych.**

Z kolei, doświadczalną część rozprawy cechują jasno sformułowany cel, obszerny plan badawczy oraz poprawność metodologiczna. Doktorant zrealizował szeroki zakres prac eksperymentalno – badawczych, przedstawił ich wyniki wraz z dyskusją. W pierwszej kolejności dokonał doboru rodzaju i udziału środków modyfikujących oraz metod ich wprowadzania do powłoki z uwagi na silną tendencję do aglomeracji proszków w rozmiarze nano. Scharakteryzował strukturę wytworzonych materiałów oraz ich mechaniczne i fizykochemiczne właściwości istotne z punktu widzenia uzyskania założonych funkcjonalnych cech hydro i lodofobowych, takich jak: lepkość, grubość i chropowatość powierzchni oraz skład chemiczny i zwilżalność powłok. Autor pracy dokonał szczegółowej analizy uzyskanych wyników, biorąc pod uwagę także trwałość modyfikowanych powłok po ekspozycji na czynniki zewnętrzne, tj. podwyższona i obniżona temperatura, promieniowanie UV, środowisko korozyjne oraz cykle zamrażania/rozmarzania. Naukowy charakter pracy dodatkowo wzbogacają interesujące a zarazem obiecujące rezultaty przeprowadzonej przez Doktoranta laserowej teksturyzacji powierzchni wytworzonych powłok. Badania w tym zakresie zostały zrealizowane w ramach stażu w Institute of Materials Science w Sewilli (Hiszpania). Z kolei, eksperymenty w warunkach zbliżonych do rzeczywistych z wykorzystaniem lodowego tunelu aerodynamicznego, wykonane w ramach stażu w Concordia University (Kanada) podnoszą aplikacyjne walory pracy.

W zamykających rozprawę wnioskach i uwagach końcowych (*str. 143-145*) Doktorant podsumował istotne wyniki badań, które pozwoliły na osiągnięcie zakładanych celów. Oceniając cały układ pracy uważam, że jest on właściwy i bardzo dobrze odzwierciedla zamysł Autora oraz konsekwentną realizację poszczególnych zadań badawczych, tym samym spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Odnośząc się do oceny merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej należy podkreślić, że mgr inż. Bartłomiej Przybyszewski wykazał się dużą wiedzą, zaangażowaniem oraz umiejętnością w formułowaniu problemów badawczych i planowaniu badań niezbędnych do ich rozwiązania. Zarówno sposób realizacji badań jak i eksperymentów, a także interpretacja uzyskanych wyników zostały wykonane bardzo starannie, z dużą dbałością o szczegóły. Praca jest spójna i jako całość stanowi oryginalne opracowanie poruszające problematykę poprawy funkcjonalnych właściwości hydro- i lodofobowych powłok polimerowych. Sposób przedstawienia istotnych kwestii i realizacja prac badawczych zostały przez Doktoranta bardzo dobrze przemyślane i opisane. Począwszy od przedstawiania głównych zagadnień związanych z występowaniem oblodzenia oraz rodzajem nawarstwiającego się lodu wpływającego na intensywność tego zjawiska Autor pracy przechodzi do omówienia zagrożeń wynikających z oblodzenia statków powietrznych. Następnie w przejrzysty sposób wyjaśnia ideę i metody doboru materiałów oraz technik badawczych. Ostatecznie dokonuje syntezy i dyskusji wyników badań własnych, na podstawie

których stwierdza, że możliwe jest wytworzenie trwałych powłok poliuretanowych o podwyższonych właściwościach hydrofobowych a nawet superhydrofobowych i lodofobowych.

Pytania i zagadnienia do dyskusji w czasie obrony:

- 1) Jaki procent powierzchni zmodyfikowanych powłok objęły badania przedstawione w rozdziale 6.5? (str. 98-111).
- 2) Proszę o wyjaśnienie czym kierowano się podczas doboru pola powierzchni w badaniach chropowatości wytworzonych powłok? (str. 104-106, rys. 60-68 oraz str. 129-130, rys. 92-94).
- 3) W jakim stopniu badane obszary zmodyfikowanych powłok są reprezentatywne dla całej powierzchni próbek?
- 4) Czy może Pan wskazać, na podstawie przeprowadzonych badań, kluczowy parametr decydujący o trwałości/stabilności właściwości wytworzonych powłok lodofobowych?

Pytania dyskusyjne mają charakter uzupełniający, nie wpływają w żadnym stopniu na przejrzystość i odbiór opracowania. Nie obniżają również mojej bardzo pozytywnej opinii o recenzowanej pracy, w której zawarto wiele cennych informacji. Uważam, że mgr inż. Bartłomiej Przybyszewski bardzo dobrze poradził sobie z rozwiązaniem sformułowanego problemu badawczego, osiągnął przy tym wartościowe wyniki i w pełni zrealizował założone cele pracy.

Do najważniejszych osiągnięć Autora recenzowanej pracy doktorskiej zaliczam:

- 1) Dobór składu chemicznego powłoki pozwalający na uzyskanie wysokich właściwości lodofobowych w porównaniu do materiału wyjściowego, które utrzymują się po wielu próbach starzeniowych,
- 2) Wykazanie, że odpowiedni dobór parametrów teksturyzacji laserowej powierzchni zmienia właściwości powłok poliuretanowych z hydrofilowych na superhydrofobowe.
- 3) Dokonanie kompleksowej charakterystyki wytworzonych powłok w różnych warunkach występowania lodu w oparciu o zaawansowane metody badawcze, w tym wykorzystanie niedostępnej w Polsce i unikatowej infrastruktury badawczej (mowa o lodowym tunelu aerodynamicznym).

III. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując stwierdzam, że **rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Przybyszewskiego jest dobrze ulokowana w obecnym stanie wiedzy, została wykonana i napisana na bardzo dobrym poziomie naukowym i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.** Autor pracy wykazał, że posiada szeroką wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie wytwarzania oraz charakterystyki powłok o właściwościach hydro- i lodofobowych. Poprawnie zaplanował i przeprowadził komplementarne badania, a ich wyniki przedstawił w recenzowanej rozprawie oraz w pracach opublikowanych w renomowanych czasopiśmie naukowych z zakresu inżynierii materiałowej. Doktorant dowiódł, że potrafi

samodzielnie prowadzić prace naukowe. Uważam, że problematyka naukowa podjęta w opiniowanej rozprawie doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Przybyszewskiego jest bardzo aktualna i niezwykle istotna z uwagi na wysoki potencjał wykorzystania opracowanych materiałów w wielu branżach, nie tylko w przemyśle lotniczym.

We wnioskach końcowym stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Przybyszewskiego pt.: „ Effect of chemical and physical modifications of polyurethane coatings on their hydrophobic and icephobic properties”, zrealizowana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Anny Boczkowskiej, spełnia wszystkie wymagania formalne stawiane rozprawom doktorskim zawarte w stosownej ustawie. Wnioskuje zatem o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę unikalność problematyki naukowej oraz oryginalne rozwiązanie naukowe w zakresie funkcjonalnych powłok polimerowych o właściwościach lodofobowych oraz wysoki potencjał aplikacyjny stwierdzam, że praca zasługuje na wyróżnienie. W związku z powyższym wnioskuje do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej o wyróżnienie rozprawy.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Polak', is located in the lower right quadrant of the page.