

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Wierzchoń

Warszawa 17.09.2023r.

Politechnika Warszawska

Wydział Inżynierii Materiałowej

ul. Wołoska 141

02-507 Warszawa

## RECENZJA

osiągnięcia naukowego pt. „Mikrostruktura i utlenianie wysokotemperaturowe powłok i warstw wytwarzanych na wybranych stopach stosowanych na elementy turbin silników lotniczych” oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Radosława Swadźby w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego.

**Podstawa prawna opracowania recenzji:** pismo prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej - Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej, informujące o powołaniu Komisji Habilitacyjnej uchwałą Rady nr 56/2023 z dnia 11.07.2023r. w celu przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego dr inż. Radosława Swadźby wraz z dokumentacją oraz pismem Rady Doskonałości Naukowej z dnia 26.06.2023r. nr DRKN.Z2.400.50.2023.

### I. Ogólna charakterystyka Kandydata

Dr inż. Radosław Swadźba ukończył studia magisterskie z wyróżnieniem w 2011 roku na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii w Politechnice Śląskiej w Katowicach. W 2016r. na tym samym Wydziale obronił, także z wyróżnieniem, pracę doktorską pt. „ Degradacja powłokowych barier cieplnych na nanokrystalicznym żarowytrzymałym stopie niklu w warunkach wysokotemperaturowego utleniania”, której promotorem był dr hab. inż. Jerzy Wiederman- profesor Instytutu Metalurgii Żelaza w Gliwicach. Od 2012 roku dr inż. Radosław Swadźba zatrudniony był w IMŻ w Gliwicach kolejno jako: specjalista inżynierijno- techniczny do 2013r., specjalista badawczo – techniczny do 2014 roku, od 4.2014 r do 1.2017 r. asystent, następnie adiunkt, pełniąc funkcję zastępcy kierownika Zakładu Badania Właściwości i Struktury Materiałów. W latach 2021-2022 już w ramach utworzonej Sieci Badawczej Łukasiewicz pracował w IMŻ jako Lider Obszaru Grupy Badawczej: Badania Właściwości i Struktury Materiałów, obecnie od 2023r. w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny w Gliwicach- jest zatrudniony na stanowisku Lidera Obszaru ( zastępca Lidera Grupy Badawczej Badania Właściwości i Struktury Materiałów).

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Rada Dyscypliny  
Inżynieria Materiałowa

wpłynęło dnia 22.09.2023  
nr 65 zał.

W trakcie pracy zawodowej dr inż. R. Swadźba odbył cztery staże w następujących instytucjach naukowych i przemysłowych, w tym trzy przemysłowe: w Pratt and Whitney w Rzeszowie - jednomiesięczny w 2008r., w AvioAero Polska (General Electric Busines) - sześciomiesięczny w 2017r. i krótkoterminowy w DLR-German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.v.) w Kolonii (Niemcy) oraz staż dydaktyczny w Politechnice Śląskiej na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii w Katowicach w okresie 15.10.2018r.-10.02.2019rok.

### Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych dr inż. Radosław Swadźba przedstawił cykl 10-ciu artykułów powiązanych tematycznie pod wspólnym tytułem: „**Mikrostruktura i utlenianie wysokotemperaturowe powłok i warstw wytwarzanych na wybranych stopach stosowanych na elementy turbin silników lotniczych**”. Są to publikacje w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym z listy JCR, tj.: „Corrosion Science”-współczynnik Impact Factor (IF-7,72) - 5 artykułów, Surface and Coatings Technology ( IF- 3,784) - 2 artykuły, „Microscopy and Microanalysis” (IF-4,099), „Applied Surface Science” (IF-7,392), Intermetallics (IF-3,42) o sumarycznym **IF=60,487**, liczbie punktów Ministerstwa Edukacji i Nauki: **1210**, opublikowanych w latach: **2017-2022**; artykuły w większości współautorskie (9 ), w przypadku 8 Habilitant był pierwszym autorem. Z przedstawionej dokumentacji wynika, że w publikacjach zespołowych wkład dr inż. R. Swadźby był znaczący oraz twórczy. Tematyka badawcza tych publikacji jest spójna. Szczególny nacisk Habilitant położył na metody wytwarzania, badania struktury i właściwości warstw powierzchniowych na stopach stosowanych na krytyczne elementy silników lotniczych, tj. na żaroodpornych nadstopach niklu, stopach z faz międzymetalicznych TiAl oraz stopie niobu C103. Są to materiały obecnie stosowane, czy też badane w aspekcie opracowania technologii inżynierii powierzchni umożliwiających zwiększenie ich odporności na wysokotemperaturowe utlenianie w przypadku ich zastosowania na łopatki turbin, czy np. dysze wylotowe silników lotniczych. Jest to tematyka aktualna, związana z rozwojem nowoczesnych silników lotniczych o zwiększonej trwałości w warunkach korozji wysokotemperaturowej, ukierunkowana na opracowywanie nowych rozwiązań materiałowych.

Do najważniejszych osiągnięć Habilitanta zaliczyć należy prace ukierunkowane na:

- wyjaśnienie zjawisk zachodzących podczas utleniania wysokotemperaturowego badanych materiałów i powłokowych barier cieplnych (TBC), w tym łopatek turbiny silnika lotniczego podczas eksploatacji wykonanych ze stopu niklu w warunkach zmiennej temperatury, ciśnienia i w obecności produktów spalania paliwa lotniczego, a także zwiększenia trwałości TBC poprzez optymalizację składu chemicznego międzywarstwy w powłokach TBC typu NiCoCrAlY,

- określenie mechanizmów degradacji stopu TiAl wytwarzanego metodą EBM (Electron Beam Melting) i poddanego następnie izostatycznemu prasowaniu na gorąco oraz obróbce cieplnej

zgodnej z technologią wytwarzania łopatek turbiny niskiego ciśnienia, podczas wysokotemperaturowego utleniania oraz powłok SiAl na tym stopie, w tym opracowanie podstaw ich wytwarzania metodą proszkową (pack cementation) oraz powłok typu TiAlCrYSi, stanowiących międzywarstwę w powłokowych barierach cieplnych, w tym dobór ich składu chemicznego i kształtowanie mikrostruktury wytwarzanych opracowaną metodą CHC-PVD (Closed Hollow Cathode - Physical Vapor Deposition) na skonstruowanym i zbudowanym urządzeniu do wytwarzania powłok żaroodpornych w/w metodą. Zaznaczyć należy, że prace te prowadzone były w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki (NCN) i Niemieckiego Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) w ramach programu Beethoven II, którego Habilitant był kierownikiem oraz we współpracy z ośrodkami w Niemczech: German Aerospace Center(DLR) w Kolonii i Karlsruhe Institute of Technology, a także – w przypadku procesu CHC-PVD współpracy z Politechniką Śląską w Katowicach- Wydziałem Inżynierii Materiałowej oraz Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Tin Films Fraunhofer-IST) w Braunschweig (Niemcy),

- opracowanie podstaw technologii hybrydowej wytwarzania żaroodpornych warstw powierzchniowych na w/w stopie niobu stosowanym na dysze wylotowe silników lotniczych oraz raket, łączącej w dwustopniowym procesie technologicznym procesy borowania i krzemowania dyfuzyjnego w proszkach metodą kontaktowo-gazową ( pack cementation).

Są to prace o dużym znaczeniu zarówno poznawczym, jak też aplikacyjnym. Realizacja tak szerokiego zakresu prac badawczych wymagała od dr inż. Radosława Swadźby także opracowania metodyki przygotowania cienkich folii metodą FIB (Focused Ion Beam) w celu przeprowadzenia badań powłokowych barier cieplnych z zastosowaniem STEM (wysokorozdzielczego skaningowo transmisyjnego mikroskopu elektronowego), która stanowi także podstawę współpracy Habilitanta z German Aerospace Center w Kolonii. Ponadto w aspekcie badania mechanizmów utleniania wysokotemperaturowego badanych materiałów Habilitant wdrożył w Sieci Łukasiewicz-IMŻ metodykę badań analiz składu chemicznego z zastosowaniem spektroskopii z dyspersją długości fali – WDS (Wave Dispersive Spectrometry) w skaningowym mikroskopie elektronowym FEI INSPEKT F oraz z zastosowaniem spektroskopii strat energii elektronów-EELS (Electron Energy Loss Spectrometry) w mikroskopie STEM (FEI TITAN 80-300), a także zaprojektował i uczestniczył w budowie prototypowego urządzenia do wytwarzania powłok metodą CHC-PVD oraz w opracowaniu podstaw technologii wytwarzania powłok żaroodpornych. Podkreślić należy także, że wyniki tych badań z bardzo szczegółową analizą w porównaniu do aktualnego stanu zagadnienia w tej tematyce badawczej prezentowane były przez Habilitanta nie tylko w 10 publikacjach stanowiących osiągnięcie naukowe Habilitanta, ale również na konferencjach krajowych, międzynarodowych i seminariach naukowych, także w formie tzw. referatów zapraszanych, m.in.: International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films w San Diego w USA- 2019r., XVII International Conference on Electron Microscopy w 2020r.(online), MTS Materials Technologie in Silesia w Wiśle- 2022r., TMS Annual Meeting and Exhibition Symposium: Enviromental Degradation of Additively Manufactured Alloys - San Diego w 2020r.,

Conference Intermetallics w Badd Staffelstein ( Niemcy) w 2021r, Advanced Coatings and Materials for Turbine Components w Nicei (Francja), High Temperature Corrosion-Mitigation in Energy Sectors Conference w Krakowie w 2018r., Inżynieria Powierzchni -INPO'2017 " w Wiśle, jak też Seminarium na University Lehigh ( Materials Science and Engineering Department) w Bethlehem w USA, a opracowane podstawy technologii były weryfikowane w obróbce np. łopatek turbiny silnika lotniczego wytworzonej metodą druku 3D z wytworzoną powłoką TiAlCrYSi. Ponadto podkreślić należy, że prace te były prowadzone w ramach projektów badawczych i współpracy z ośrodkami krajowymi i zagranicznymi, posiadającymi duże doświadczenie w tej tematyce.

Przedstawiony przez dr inż. R. Swadźbę cykl artykułów jest powiązany tematycznie i wraz z autoreferatem przedstawia szeroki zakres prowadzonych przez Niego prac naukowo-badawczych, które wnoszą znaczący wkład w rozwój inżynierii materiałowej, w szczególności w zakresie nowych rozwiązań materiałowych na elementy turbin silników lotniczych opracowanych z zastosowaniem technologii inżynierii powierzchni, obejmujący wszystkie etapy pracy naukowej, począwszy od analizy aktualnego stanu zagadnienia w tematyce badawczej, postawienia celów badawczych, opracowania metodyki badań, poprzez udział w modyfikacji urządzeń badawczych, udział w budowie jednego z urządzeń do realizacji procesu wytwarzania powłok żaroodpornych, po opracowanie podstaw technologii ich wytwarzania, dogłębną charakterystykę mikrostruktury badanych materiałów i ich odporności na wysokotemperaturowe utlenianie oraz określenie mechanizmów degradacji. Przedstawione publikacje potwierdzają dużą dojrzałość naukową, bardzo dobrą znajomość tematyki badawczej i przygotowanie merytoryczne Habilitanta do prowadzenia badań zarówno o charakterze naukowym, jak też aplikacyjnym w obszarze inżynierii materiałowej.

Stwierdzam, że cykl 10 publikacji pt., **Mikrostruktura i utlenianie wysokotemperaturowe powłok i warstw wytwarzanych na wybranych stopach stosowanych na elementy turbin silników lotniczych**" spełnia ustawowe kryteria w zakresie osiągnięcia naukowego, pozwalającego na uzyskanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

### **Ocena dorobku naukowego**

Działalność naukowa dr inż. Radosława Swadźby skupia się w zasadzie już od ukończenia Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej na badaniach w zakresie inżynierii materiałowej, a w szczególności prac związanych z problematyką inżynierii powierzchni, tj. opracowywania technologii wytwarzania powłok żaroodpornych, odpornych na korozję i zużycie, ukierunkowanych na kształtowanie właściwości materiałów dla lotnictwa. W tej tematyce badawczej Habilitant przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych był współautorem 20 publikacji, tj. 17 artykułów w takich czasopismach o zasięgu międzynarodowym i krajowych jak: Surface and Coatings Technology, Nondestructive Testing and Evaluation, Materials and Corrosion, Archives of Metallurgy and Materials, Oxidation of Metals, Optics and Laser Technology, Inżynieria Materiałowa, Ochrona przed Korozją, Prace

Instytutu Metalurgii Żelaza oraz w materiałach międzynarodowych konferencji: 2 w Czechach i 1 w Niemczech, a po uzyskaniu stopnia doktora 29 publikacji, w tym 10 stanowiących przedmiot w/w osiągnięcia naukowego. Były to artykuły m.in. w takich czasopismach jak: Materials and Design, Corrosion Science, Oxidation of Metals, Surface and Coatings Technology, Intermetallics, Applied Surface Science, Coatings, Materials Science and Engineering, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Acta Physica Polonica, Ochrona przed Korozją, Kovove Materialy-Metallic Materials, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza. Na podkreślenie zasługuje zakres prac realizowany przez Habilitanta w tych publikacjach, począwszy od podstaw technologicznych wytwarzania materiałów powłokowych, w tym innowacyjnych procesów hybrydowych, opracowania metodyki badań utleniania wysokotemperaturowego badanych materiałów, poprzez szeroką gamę zastosowanych technik badawczych, do pełnienia funkcji autora korespondującego. Sumaryczny Impact Factor tych publikacji wynosi wg bazy Web of Science - 149,634, bazy Scopus -150,491, a liczba cytowań (bez autocytowań) 387 według WoS i 429 wg bazy Scopus, a indeks Hirscha kolejno: 13 (WoS) i 14 (Scopus). Dane te świadczą o dużym zainteresowaniu publikacjami Habilitanta, które związane są z aktualną tematyką badawczą, dotyczącą nowych rozwiązań materiałowych na potrzeby lotnictwa, w szczególności stosowanych na elementy turbin silników lotniczych.

Działalność naukowa dr inż. Radosława Swadźby charakteryzuje się dużym zaangażowaniem i aktywnością badawczą m.in. brał udział w wprowadzeniu w Politechnice Śląskiej nieniszczącej metody badań elementów silników lotniczych z wykorzystaniem skanowania optycznego; zaprojektowaniu i budowie prototypowego urządzenia do wytwarzania powłok metodą CHC - PVD (Closed Cathode Physical Vapor Deposition) oraz w opracowaniu podstaw technologii wytwarzania powłok ochronnych w tym procesie na stopach TiAl i opracowaniu podstaw technologii wytwarzania międzywarstw dla powłokowych barier cieplnych na stopie TiAl metodą kontaktowo-gazową (pack cementation).

Prace badawcze, w których uczestniczył Habilitant, były realizowane w dużym zakresie w ramach 16 projektów badawczych (8 po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych) z NCBiR, NCN, zlecanych przez firmy przemysłowe, a w dwóch z nich był kierownikiem (projekt NCN – TiAlMet) i NCBiR - projekt M-Era.NET (realizacja w latach 2023-2026). Na podkreślenie zasługuje m.in. udział dr inż. R. Swadźby w pracach o charakterze wdrożeniowym tj. w opracowaniu wraz z uruchomieniem procesu technologicznego aluminiowania dyfuzyjnego elementów silników lotniczych w firmie PBS Velka Bites w Czechach oraz w opracowaniu podstaw technologii wytwarzania powłok ochronnych metodą pack cementation na łopatkach turbiny silnika ze stopu TiAl wykonanych metodą drukowania 3D w ramach programu INNOLOT współfinansowanego przez firmę AvioAero (General Electric), a także kierowanie w latach 2012-2022 około 70 ekspertyzami oraz zleceniami realizowanymi dla firm przemysłowych i jednostek badawczych. Badania te, realizowane w tak szerokim zakresie, były również podstawą do wygłoszenia 43 referatów na konferencjach o zasięgu międzynarodowym, w tym 7 tzw. referatów zapraszanych oraz współautorstwa jednego

patentu europejskiego. Podkreślić należy szeroką współpracę badawczą Habilitanta z ośrodkami naukowymi krajowymi i zagranicznymi oraz fakt, że był recenzentem 61 publikacji w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym z takich wydawnictw jak: Elsevier (39 recenzji), Cambridge(6), MDPI (3), The American Society of Mechanical Engineers-ASME (2), American Society for Testing and Materials-ASTM(4), ASM International-Materials Information Society(1), Wiley (1).

Z przedstawionych danych dotyczących aktywności naukowej Habilitantki ukazuje się sylwetka pracownika naukowego konsekwentnie rozszerzającego swoje zainteresowania naukowo-badawcze, charakteryzującego się inicjatywą w działalności naukowej, którego dorobek jest twórczy i oryginalny, widoczny w środowisku naukowym w dyscyplinie inżynieria materiałowa nie tylko w naszym kraju. Dorobek naukowy dr inż. Radosława Swadźby, w szczególności uzyskany po otrzymaniu stopnia doktora nauk technicznych, w tym osiągnięcia aplikacyjne, sprawiają, że jest cenionym autorytetem w obszarze inżynierii materiałowej, szczególnie w zakresie kształtowania właściwości materiałów metalicznych metodami inżynierii powierzchni dla potrzeb przemysłu lotniczego.

#### **Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej.**

Dr inż. Radosław Swadźba jako pracownik Górnośląskiego Instytutu Badawczego Sieci Badawczej Łukasiewicz bierze także aktywny udział w działalności dydaktycznej m.in.: w 2018 roku odbył semestralny staż dydaktyczny na Wydziale Inżynierii Materiałowej Metalurgii Politechniki Śląskiej w Katowicach, w ramach którego prowadził wykłady, zajęcia laboratoryjne i projektowe z przedmiotu „Szybkie projektowanie” na specjalności Technologię Materiałowe. Jest ponadto promotorem pomocniczym dwóch prac doktorskich: jednej w swojej macierzystej jednostce naukowej oraz drugiej w ramach programu „Doktoraty wdrożeniowe” w Politechnice Śląskiej. Pełnił również w Instytucie Metalurgii Żelaza rolę opiekuna stażystów z jednostek naukowo-badawczych i naukowo-dydaktycznych tj.: Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w Warszawie, Instytutu Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, firmy AvioAero, prowadząc szkolenia z zakresu zaawansowanych technik badawczych, w szczególności badań strukturalnych, a w 2019r. zorganizował szkolenia z wykorzystaniem zaawansowanych metod badań materiałów dla firmy AvioAero(General Electric). Habilitant aktywnie uczestniczył i uczestniczy w działalności organizacyjnej macierzystej jednostki naukowo-badawczej m.in.:

- w 2018 roku pełniąc funkcję kierownika Zakładu Badań Właściwości i Struktury Materiałów kierował przedsięwzięciem technicznym pt. "Dostawa i instalacja wysokorozdzielczego mikroskopu skaningowego wyposażonego w emiter Schottky'ego FEG oraz detektory analityczne EDS i EBSD."

- zainicjował i pełnił nadzór formalny nad wprowadzeniem Instytutu Metalurgii Żelaza, jako pierwszego z Sieci Badawczej Łukasiewicz, do międzynarodowej sieci badawczej AvioAero (GE)

„European Technologies Development Clusters”, zrzeszającej ponad 25 jednostek z Polski, Czech, Włoch i Niemiec,

- uczestniczył w ocenie merytorycznej 53 wniosków o finansowanie badań i 27 wniosków inwestycyjnych w ramach dotacji celowych Sieci Badawczej Łukasiewicz, był kierownikiem 8 prac badawczych w ramach działalności statutowej Instytutu Metalurgii Żelaza.

- w roku 2021 został włączony do grupy roboczej w ramach Traktatu Północnoatlantyckiego - NATO (North Atlantic Treaty Organization) o nazwie „ET 215: Thermal and Environmental Barrier Coatings for Military Aircraft Engines”, skupiającej około 20 osób z jednostek badawczych z 6 krajów: German Aerospace Center (DLR), National Research Council (NRC) z Kanady, US Department of Defense i US Air Force z USA, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska oraz Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metalurgii Żelaza.

Był organizatorem dwóch międzynarodowych seminariów w Instytucie Metalurgii Żelaza, a także w 2019 r. seminarium na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej. Dr inż. Radosław Swadźba jest członkiem: Polskiego Towarzystwa Mikroskopii Elektronowej, European Microscopy Society oraz The Minerals, Metals and Materials Society.

Działalność dydaktyczną i organizacyjną na rzecz środowiska naukowego oceniam pozytywnie.

#### **Wniosek końcowy**

Na podstawie analizy całokształtu pracy naukowej dr inż. Radosława Swadźby uważam, że:

- cykl 10 publikacji pt. „Mikrostruktura i utlenianie wysokotemperaturowe powłok i warstw wytwarzanych na wybranych stopach stosowanych na elementy turbin silników lotniczych” stanowi osiągnięcie naukowe będące twórczym wkładem Habilitanta w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa.
- Habilitant jest w mojej opinii dojrzałym pracownikiem naukowym o szerokiej wiedzy, doświadczeniu i dynamice twórczej, specjalistą w zakresie inżynierii materiałowej,
- dorobek naukowy Habilitanta jest znaczący, nowatorski, szczególnie po obronie rozprawy doktorskiej, udokumentowany licznymi publikacjami rozpowszechnionymi w zdecydowanej większości w skali międzynarodowej.

Uwzględniając dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny dr inż. Radosława Swadźby wyrażam opinię, że spełnione zostały wszystkie wymagania stawiane w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym w zakresie przyznawania tytułu doktora habilitowanego nauk technicznych. Stawiam zatem wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o nadanie dr inż. Radosławowi Swadźbie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

