

Kraków, 18.01.2024

Dr hab. inż. Beata Dubiel, profesor uczelni
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Recenzja

**osiągnięcia naukowego oraz całokształtu dorobku zawodowego
przedstawionego do oceny w postępowaniu habilitacyjnym**

dr. Jacka Krawczyka

w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria materiałowa

Podstawa opracowania recenzji:

Uchwała Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach nr RN_IIM/48/2003 z dnia 07.11.2023 r. oraz pismo Dyrektora Instytutu Inżynierii Materiałowej Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach nr WNST/IIM/BEOI.421.2.2003 z dnia 13.11.2023 r.

Recenzję opracowałam w oparciu o dokumentację osiągnięć Habilitanta przekazaną w formie wydrukowanej i elektronicznej. W ocenie osiągnięć dr. Jacka Krawczyka kierowałam się wymaganiami określonymi w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późniejszymi zmianami)

1. Charakterystyka Habilitanta

Dr Jacek Krawczyk w 2006 r. ukończył studia magisterskie na Wydziale Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. W 2012 r. obronił na macierzystym Wydziale pracę doktorską pt. „*Otrzymywanie oraz charakterystyka kompozytów typu kryształ-kwazikryształ stopów Al-Cu-Fe i Al-Cu-Co*”, której promotorem był dr hab. Włodzimierz Bogdanowicz, prof. UŚ i uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Od 2011 r. jest zatrudniony w Uniwersytecie Śląskim w Katowicach, początkowo na stanowisku asystenta, a od 2012 r. na stanowisku adiunkta na Wydziale Nauk Ścisłych i Technicznych w Instytucie Inżynierii Materiałowej.

2. Ocena osiągnięć naukowych

Jako główne osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr Jacek Krawczyk przedstawił cykl czternastu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, w których zawarto wyniki badań dotyczące zagadnienia zatytułowanego *"Defekty strukturalne i mechanizmy ich tworzenia podczas osiowego i boczego wzrostu dendrytów w monokrystalicznych łopatkach turbiny z nadstopów niklu"*. Tematyka zagadnienia wpisuje się w nurt intensywnych prac nad ulepszeniem technologii produkcji monokrystalicznych łopatek turbin silników lotniczych z nadstopów niklu prowadzonych w licznych ośrodkach naukowych na całym świecie.

Artykuły wchodzące w skład cyklu opublikowano w czasopismach naukowych ujętych w roku wydania w wykazach sporządzonych zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b. Publikacje są spójne tematycznie i dotyczą charakteryzowania defektów strukturalnych monokrystalicznych łopatek turbin silników lotniczych wytwarzanych w procesie krystalizacji kierunkowej metodą Bridgmana. Zostały opublikowane w latach 2016-2022 w czasopismach Acta Physica Polonica A (2 artykuły), Archives of Metallurgy and Materials (1 artykuł), Crystal Research and Technology (1 artykuł), Materials (8 artykułów), Metallurgical and Materials Transactions A (1 artykuł) oraz Powder Metallurgy and Metal Ceramics (1 artykuł. Współczynnik wpływu (*impact factor*, IF) tych czasopism zgodnie z rokiem publikacji mieści się w zakresie od 0,326 do 3,748. Wśród nich jest jedna publikacja autorska i 13 publikacji wieloautorskich.

W Autoreferacie Habilitant określił na czym polegał Jego udział w powstaniu poszczególnych publikacji wchodzących w skład cyklu. Publikacje uporządkowano pod względem opisu wyników badań dotyczących kolejno krystalizujących po sobie stref monokrystalicznego odlewu łopatki:

- strefy początkowej, która obejmuje selektor oraz dolny fragment zamka łopatki (publikacje C1-C4),
- zamka (publikacje C3-C11),
- pióra łopatki (publikacje C11-C14).

Takie uporządkowanie wyników umożliwiło zaprezentowanie w sposób logiczny wyników kompleksowej charakteryzacji defektów strukturalnych i zaproponowanych mechanizmów ich tworzenia w zależności od strefy krystalizacji monokrystalicznych łopatek z nadstopów niklu.

W badaniach dotyczących krystalizacji dendrytycznej w selektorze spiralnym istotny indywidualny wkład Autora w osiągnięcie naukowe dotyczy ustalenia krytycznej wartości kąta odchylenia rdzenia dendrytu od powierzchni ścianki formy odlewniczej, przy której może nastąpić zahamowanie osiowego wzrostu dendrytu, a także wykazania, że w dolnej warstwie zamka łopatki wzrost dendrytów ma charakter nieustalony. Ważnym wynikiem jest także wykazanie, że wzrost boczny dendrytów jest intensywniejszy niż wzrost osiowy. Istotny wkład

Habilitanta w charakteryzację krystalizacji dendrytycznej w dolnej strefie łopatki monokrystalicznej polegał także na opracowaniu autorskiej metody wizualizacji położenia liniowego rdzeni dendrytów na przekroju badanej próbki oraz zaproponowaniu nowego parametru do opisu mikrostruktury dendrytycznej - liniowej odległości międzydendrytycznej.

Badania defektów struktury krystalicznej w strefie zamka łopatek monokrystalicznych doprowadziły do ustalenia, że występuje w niej dziedziczenie defektów powstałych w początkowym etapie krystalizacji. Wykazano również, że w strefie połączenia selektora i zamka zainicjowany jest tzw. „efekt wachlarza”, czyli odchylenie kątowe kierunków wzrostu dendrytów wzrastających z selektora do zamka łopatki, ułożonych w kształt litery „V”. Ustalono także, że standardowa obróbka cieplna łopatek monokrystalicznych nie eliminuje większości makroskopowych defektów struktury krystalicznej związanych z dezorientacją dendrytów. Na podkreślenie zasługuje użycie w tej części badań wielu nowoczesnych metod badawczych, w tym po raz pierwszy scharakteryzowanie makroskopowych granic małego kąta w monokrystalicznych nadstopach niklu przy użyciu spektroskopii anihilacji pozytonów (PALS). Ponadto indywidualny wkład Habilitanta w charakteryzowanie defektów w strefie zamka łopatki monokrystalicznej stanowi opracowanie autorskiej metody interpretacji wyników badań obejmujących wielkoskalową analizę porównawczą rezultatów pomiarów w skali makro-, mikro- i nanometrycznej.

Z kolei najistotniejszym osiągnięciem Habilitanta z zakresu badań krystalizacji pióra łopatki jest stwierdzenie, że niewielka odległość między ściankami formy w tej strefie jest przyczyną zakłócenia osiowego i bocznego wzrostu dendrytów. W konsekwencji powstaje efekt „ukierunkowania” dendrytów w piórze łopatki, co prowadzi do zmiany orientacji krystalicznej. Ważnym rezultatem badań jest także określenie krytycznej wartości odległości między ściankami formy, przy której zmiana kierunku wzrostu dendrytów może skutkować tworzeniem się granic małego kąta. Ponadto Habilitant opracował nowatorską metodykę określania liczby granic małego kąta w wierzchołku pióra łopatki zależnie ich liczby w zamku, kształtu pióra i orientacji krystalicznej.

Po zapoznaniu się z opiniowanym cyklem publikacji stwierdzam, że Habilitant wniósł znaczący, wyraźnie wyodrębniony indywidualny wkład w pracach zbiorowych. Oszacowana wartość procentową udziału Habilitanta w publikacjach ujętych w cyklu wynosi od 70% do 100%. Przedstawiona we wniosku dokumentacja potwierdza, że udział Habilitanta w osiągnięciu polegał na opracowaniu hipotezy badawczej i planu badań, doborze autorskiej metodyki i nowatorskich badawczych, samodzielnym wykonaniu znacznej części prac eksperymentalnych, opracowaniu unikatowej koncepcji analizy wyników badań, interpretacji uzyskanych wyników i sformułowaniu wniosków.

Dr Jacek Krawczyk konsekwentnie i dociekliwie prowadził prace eksperymentalne w celu scharakteryzowania defektów strukturalnych podczas osiowego i bocznego wzrostu dendrytów w trakcie krystalizacji poszczególnych stref monokrystalicznych łopatek turbiny z nadstopów niklu. W badaniach mikrostruktury stosował różnorodne metody, zarówno te konwencjonalne jak skaningowa i transmisyjna mikroskopia elektronowa (SEM, TEM), jak i unikatowe, po raz pierwszy wykorzystane do charakteryzowania łopatek monokrystalicznych, m.in. metodę rentgenowskiej topografii dyfrakcyjnej oraz spektroskopię anihilacji pozytonów. Są to niewątpliwie badania nowatorskie. Poziom prowadzonych prac świadczy o dojrzałości naukowej Kandydata.

Rezultaty badań umożliwiły uzyskanie przez Habilitanta osiągnięcia o charakterze poznawczym, polegającego na przedstawieniu kompleksowego i wielkoskalowego opisu struktury krystalicznej monokrystalicznych łopatek turbin ukształtowanej w ich poszczególnych strefach oraz mechanizmów powstawania defektów związanych z przebiegiem osiowego i bocznego wzrostu dendrytów.

Rezultatem prowadzonych prac badawczych jest także osiągnięcie metodologiczne w zakresie wykorzystania nowatorskich metod do oceny struktury krystalicznej łopatek monokrystalicznych oraz opracowania i zastosowania oryginalnych metod analizy wyników badań eksperymentalnych. Zastosowana metoda analizy porównawczej wyników charakteryzacji defektów struktury przeprowadzonej w różnej skali doprowadziła do sformułowania mechanizmów wzrostu dendrytów w poszczególnych strefach łopatek monokrystalicznych. Niewątpliwie ważnym osiągnięciem Habilitanta w tym aspekcie jest również opracowanie autorskiej metody jakościowej i ilościowej analizy rozmieszczenia rdzeni dendrytów na wzdłużnym przekroju łopatki, która umożliwia określenie stopnia niejednorodności mikrostruktury dendrytycznej przy użyciu współczynnika liniowej odległości międzydendrytycznej.

W wyniku uzyskanych przez Habilitanta osiągnięć naukowych nastąpiło istotne poszerzenie i uzupełnienie stanu wiedzy na temat wzrostu dendrytów w trakcie krystalizacji monokrystalicznych łopatek z nadstopów niklu. Osiągnięcia te stanowią znaczący wkład w rozszerzenie wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Mogą być w przyszłości podstawą do opracowania modyfikacji technologii łopatek monokrystalicznych turbin silników lotniczych.

3. Ocena aktywności naukowo-badawczej Habilitanta realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

Dr Jacek Krawczyk wykazuje się aktywnością naukowo-badawczą realizowaną we współpracy z krajowymi ośrodkami naukowymi. Najbardziej owocną jest współpraca z Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego Politechniki Rzeszowskiej. Odbył

w nim miesięczny staż w 2017 r. oraz liczne wizyty stażowe, w trakcie których brał udział w procesie wytwarzania łopatek monokrystalicznych i prowadził badania nad ich charakteryzowaniem. Wynikiem tej współpracy jest patent dotyczący nowej metody określania kąta nachylenia rdzeni dendrytów względem powierzchni formy odlewniczej oraz szereg publikacji naukowych. Kandydat uczestniczył także w realizacji projektu badawczego w ramach konsorcjum Politechniki Rzeszowskiej, Uniwersytetu Śląskiego i firmy Pratt & Whitney Rzeszów S.A. Ponadto Habilitant współpracował z Politechniką Śląską oraz Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie przy realizacji badań kompozytów typu kryształ-kwazikryształ trójskładnikowych stopów układu Al-Cu-Fe i Al-Cu-Co.

Oceniając aktywność naukową Pana dr Jacka Krawczyka realizowaną we współpracy z innymi ośrodkami uważam, że rozwinął on z powodzeniem współpracę z polskimi naukowcami zajmującymi się zblizoną tematyką badawczą. Współpraca ta umożliwiła zapoznanie się ze specyfiką prac naukowo-badawczych realizowanych w krajowych jednostkach naukowych. Należy podkreślić, że efektywna współpraca była niezmiernie ważna dla zrealizowania przez Habilitanta ambitnych zadań badawczych dotyczących badań monokrystalicznych łopatek turbin. Rezultaty tej współpracy są owocne i zostały upowszechnione w licznych publikacjach. O międzynarodowym uznaniu osiągnięć naukowych dr Jacka Krawczyka świadczy nominacja w 2011 r. do nagrody James Clark Maxwell Young Writers Prize przyznawanej przez czasopismo *Philosophical Magazine*, a także zaproszenie do wygłoszenia referatu pt. *„Influence of heat treatment on defect structures in single-crystalline blade roots studied by X-ray topography and positron annihilation lifetime spectroscopy”* w ramach sesji plenarnej podczas konferencji EuroSuperalloys 2018 zorganizowanej przez Oxford University w Wielkiej Brytanii. Pewien niedosyt budzi natomiast brak udokumentowanej współpracy Kandydata z zagranicznymi ośrodkami naukowymi.

Podsumowując aktywność naukowo-badawczą dr Jacka Krawczyka prowadzoną w krajowych i ośrodkach badawczych stwierdzam, że współpracuje aktywnie z wieloma naukowcami i posiada doświadczenie w podejmowaniu wyzwań badawczych realizowanych przez konsorcja naukowe.

4. Ocena pozostałych osiągnięć naukowych, dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

Pan dr Jacek Krawczyk opublikował 34 publikacje w czasopismach indeksowanych w bazie JCR. Łączna liczba cytowań artykułów z listy JCR w bazie Web of Science wynosi 112, w tym 43 bez autocytowań, a indeks Hirscha wynosi 6. Sumaryczny *impact factor* publikacji w czasopismach z listy JCR wynosi $IF=49,637$. Ponadto jest współautorem 6 patentów. W okresie po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant znacząco powiększył swój dorobek publikacyjny i wartości wskaźników bibliometrycznych.

Habilitant brał udział w 36 konferencjach naukowych, na których wygłosił 13 referatów, w tym 1 na zaproszenie oraz zaprezentował 52 postery. Był wykonawcą jednego projektu badawczego INNOTECH finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, realizowanego w konsorcjum Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, WSK „PZL-Rzeszów” S.A. i Uniwersytet Śląski w Katowicach. W projekcie pełnił rolę głównego wykonawcy z ramienia Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Aktywność ta świadczy o zdobytym doświadczeniu w realizowaniu projektowych zadań zespołowych. Ponadto był kierownikiem 4 i wykonawcą 2 projektów badawczych finansowanych ze środków Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach oraz kierownikiem zlecenia badawczego z przemysłu.

Habilitant wykazał się również aktywnością w komitetach organizacyjnych i naukowych sześciu konferencji i seminariów naukowych. Był także edytorem specjalnego wydania czasopisma *Acta Physica Polonica A*, edytorem gościnnym dwóch specjalnych wydań czasopisma *Crystals*. Jest członkiem tematycznego panelu doradczego (Topical Advisory Panel) czasopisma *Crystals* oraz Polskiego Towarzystwa Wzrostu Kryształów. Wykonał 38 recenzji prac naukowych dla redakcji czasopism.

Dorobek dydaktyczny Habilitanta obejmuje prowadzenie wykładów, zajęć laboratoryjnych i ćwiczeń dla studentów I i II stopnia studiów. Wykazuje On znaczną aktywność w opracowaniu i organizowaniu nowych zajęć i stanowisk laboratoryjnych. Był promotorem i opiekunem naukowym 5 prac dyplomowych inżynierskich i 4 magisterskich oraz promotorem pomocniczym 1 rozprawy doktorskiej.

Habilitant wykazuje się również osiągnięciami w zakresie aktywności organizacyjnej. Był członkiem Rady Instytutu Nauki o Materiałach (obecnie Instytut Inżynierii Materiałowej) oraz Kierunkowego Zespołu ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia na kierunku inżynieria materiałowa. Kierował organizacją w macierzystym Instytucie Laboratorium Badań Materiałów Monokrystalicznych. Ponadto wykazał się zaangażowaniem w tworzeniu i administrowaniu stron internetowych powiązanych z działalnością Instytutu i jego pracowników. Organizował trzykrotnie eliminacje Ogólnopolskiej Olimpiady Krystalograficznej dla studentów kierunku inżynieria materiałowa Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Za uzyskany dorobek organizacyjny w 2016 r. otrzymał nagrodę Rektora Uniwersytetu Śląskiego. Habilitant bierze także czynny udział w licznych działaniach popularyzujących naukę, m. in. poprzez prowadzenie wykładów i pokazów dla uczniów szkół średnich oraz publikowanie artykułów popularnonaukowych na stronach internetowych i w mediach społecznościowych.

Aktywność organizacyjna, dydaktyczna i popularyzatorska Habilitanta świadczy o Jego zaangażowaniu oraz umiejętnościach w przekazywaniu wiedzy związanej z prowadzonymi badaniami naukowymi.

Wniosek końcowy

Działalność naukowa dr Jacka Krawczyka dotyczy zagadnień z dyscypliny Inżynieria Materiałowa. Wśród wskazanych do oceny osiągnięć naukowych, będących podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, znajduje się cykl czternastu powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Zawarte w opiniowanym cyklu wyniki wieloletnich badań dokumentują uzyskanie przez Habilitanta zarówno osiągnięcia o charakterze poznawczym, jak i metodologicznym. Osiągnięciem poznawczym jest opracowanie kompleksowego opisu struktury krystalicznej monokrystalicznych łopatek turbin ukształtowanej w ich poszczególnych strefach oraz ustalenie mechanizmów powstawania defektów związanych z przebiegiem osiowego i bocznego wzrostu dendrytów. Niemniej ważnym jest osiągnięcie metodologiczne, udokumentowane poprzez wykorzystanie nowatorskich metod badawczych oraz opracowanie i implementację oryginalnych, autorskich metod jakościowej i ilościowej analizy wyników badań defektów struktury monokrystalicznych łopatek z nadstopów niklu.

Wskazane osiągnięcia naukowe dr Jacka Krawczyka stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

Kandydat wykazuje się także aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej krajowej instytucji naukowej oraz posiada udokumentowany dorobek w zakresie pozostałych osiągnięć naukowych, działalności dydaktycznej, organizacyjnej oraz popularyzatorskiej.

Stwierdzam zatem, że dr Jacek Krawczyk spełnia wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa.

