

Białystok, 31.03.2019 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Seweryn  
profesor zwyczajny  
Politechnika Białostocka  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej  
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45 C  
[a.seweryn@pb.edu.pl](mailto:a.seweryn@pb.edu.pl)

## Recenzja

### osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, dydaktycznego, organizacyjnego i w zakresie popularyzacji nauki dr inż. Dariusza Jarząbka

Tytuł osiągnięcia naukowego: *Wpływ wytrzymałości połączenia metal-ceramika na właściwości mechaniczne materiałów kompozytowych o osnowie metalowej wzmocnianych fazą ceramiczną.*

**Podstawa opracowania opinii:** Pismo Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie dr hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego z dnia 5.02.2019 r. na podstawie pisma Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów z dnia 11.01.2019 r.

Przedstawiona poniżej opinia składa się z oceny osiągnięcia naukowego, oceny dorobku naukowego, dydaktycznego, organizacyjnego i w zakresie popularyzacji nauki oraz oceny końcowej.

## I. Ocena osiągnięcia naukowego

### I.1. Charakterystyka i ogólna analiza osiągnięcia – cel i zakres badań

Dr inż. Dariusz Jarząbek przedstawił jako swoje osiągnięcie naukowe cykl 8 publikacji powiązanych tematycznie, dotyczących mechaniki i technologii nowoczesnych materiałów niejednorodnych, w szczególności kompozytów o osnowie metalicznej, w skład którego wchodzi 7 niżej wymienionych artykułów w uznanych czasopismach o zasięgu światowym, indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR) (w nawiasie podałem udział Kandydata, wartość współczynnika wpływu zgodnie z rokiem wydania artykułu oraz liczbę cytowań według bazy Web of Science Core Collection):

A1. **Jarząbek D. M.**, Chmielewski M., Wojciechowski T. (2015), The measurement of the adhesion force between ceramic particles and metal matrix in ceramic reinforced-metal

matrix composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 76, pp. 124-130 (udział 80%, IF = 3.719, 16 cytowań),

- A2. **Jarzabek D. M.**, Chmielewski M., Dulnik J., Strojny-Nędza A. (2016), The influence of the particle size on the adhesion between ceramic particles and metal matrix in MMC composites, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 25(8), pp. 3139-3145 (udział 60%, IF = 1.331, 3 cytowania),
- A3. **Jarzabek D.M.**, Milczarek M., Wojciechowski T., Dziekoński C., Chmielewski M. (2017), The effect of metal coatings on the interfacial bonding strength of ceramics to copper in sintered Cu-SiC composites, *Ceramics International*, Vol. 43(6), pp. 5283-5291 (udział 70%, IF = 3.057, 5 cytowań),
- A4. **Jarzabek D.M.** (2015), Precise and direct method for the measurement of the torsion spring constant of the atomic force microscopy cantilevers, *Review of Scientific Instruments*, Vol. 86, pp. 013701-1-013701 (udział 100%, IF = 1.336, 2 cytowania),
- A5. Dziekoński C., Dera W., **Jarzabek D. M.** (2017), Method for lateral force calibration in atomic force microscope using MEMS microforce sensor, *Ultramicroscopy*, Vol. 182, pp. 1-9 (udział 50%, IF = 2.929, 1 cytowanie),
- A6. **Jarzabek D.M.** (2018), The impact of weak interfacial bonding strength on mechanical properties of metal matrix - ceramic reinforced composites, *Composite Structures*, Vol. 201, pp. 352-362 (udział 100%, IF = 4.101, 0 cytowań),
- A7. **Jarzabek D.M.** Dziekoński C., Dera W., Chrzanowska J., Wojciechowski T. (2018), Influence of Cu coating of SiC particles on mechanical properties of Ni/SiC co-electrodeposited composites, *Ceramics International*, Vol. 44(17), pp. 21750-21758 (udział 75%, IF = 3.057, 0 cytowań).

Należy zwrócić uwagę, że w powyższym wykazie są 2 prace autorskie Kandydata. Średnio prace te mają ponad 3 współautorów. Sumaryczny współczynnik wpływu (IF) dla tych prac, zgodnie z rokiem wydania publikacji, wyniósł **19,778** (bez podziału na współautorów), co można uznać za wynik bardzo dobry. Publikacje te były cytowane 27 razy (wg bazy Web of Science Core Collection), co świadczy o aktualności podejmowanej tematyki.

Ponadto, do cyklu publikacji powiązanych tematycznie Habilitant zaproponował także jeszcze jedną publikację – przeglądowy rozdział w monografii pt. *Ceramic Matrix Composites Materials, Manufacturing and Engineering* (ed. J. Paulo Davim), Wydawnictwo De Gruyter (2016).

Zgodnie z tytułami publikacji, przedmiotem rozważań jest inżynieria wytwarzania i mechanika kompozytów o osnowie metalowej. W szczególności, uwzględniając wkład Kandydata w poszczególne publikacje, można stwierdzić, że zasadniczą Jego tematyką w wybranym cyklu prac są metody wytwarzania oraz badań doświadczalnych właściwości mechanicznych następujących kompozytów:

- o osnowie miedzi spiekane z proszkiem tlenku glinu o różnej wielkości ziaren (Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) lub z proszkiem węgliku krzemu (Cu/SiC), a także z proszkiem węgliku krzemu, który

wcześniej pokryto warstwą ochronną, np. chromem, wolframem lub tytanem (Cu/SiC-Cr, Cu/SiC-W, Cu/SiC-Ti),

- o osnowie niklu wytwarzane metodą koelektrodepozycji z proszkiem węgla krzemu (Ni/SiC), także wcześniej pokrytym ochronną warstwą miedzi (Ni/SiC-Cu).

Problematyka poruszona w wyżej wymienionych pracach ma duże znaczenie zarówno poznawcze, jak i użyteczne. Uzyskane wyniki mają istotne znaczenie w procesie wytwarzania materiałów oraz ich zastosowaniach w konstrukcjach inżynierskich, szczególnie biorąc pod uwagę ich wytrzymałość i niezawodność, ale przede wszystkim bezpieczeństwo użytkowania.

Zakres badań przedstawionych w cyklu prac powiązanych tematycznie obejmował:

- opracowanie metod doświadczalnych wyznaczania wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie interfejsów (pomiędzy osnową metalową a ceramiczną fazą wzmacniającą) i jej wpływu na wypadkowe właściwości mechaniczne kompozytów,
- zaprojektowanie i wykonanie oryginalnych urządzeń badawczych: precyzyjnego urządzenia do rozciągania drutów wytworzonych z kompozytów MMC z wyeksponowanym połączeniem metal/ceramika oraz specjalnego urządzenia do kalibracji siły bocznej w mikroskopie sił atomowych,
- opracowanie metod modyfikacji warstwy przejściowej w kompozytach o osnowie metalowej w celu poprawienia jej wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie,
- opracowanie metody wytwarzania cienkich drutów i jej zastosowanie do badania wpływu koncentracji cząstek, ich wielkości oraz warstw ochronnych na wytrzymałość kompozytów na rozciąganie.

Przedstawiona tematyka jest interdyscyplinarna, zawiera w sobie elementy należące do dyscypliny naukowej: *mechanika* (specjalność: *mechanika materiałów*), a także elementy należące do dyscypliny *inżynieria materiałowa*.

## I.2. Ocena cyklu publikacji naukowych powiązanych tematycznie

Oceniając wybór tematyki przedstawionego cyklu publikacji naukowych oraz zakres badań, uważam, że są one ambitne i o dużym stopniu trudności. Zawierają oryginalne osiągnięcia dr inż. Dariusza Jarząbka, najważniejsze z których omówię poniżej.

1. Znaczącym osiągnięciem Kandydata jest opracowanie metodyki badań doświadczalnych wytrzymałości interfejsów (pomiędzy osnową metalową a ceramiczną fazą wzmacniającą) na rozciąganie. Badania rozpoczyna się od wypreparowania próbki, tak aby odsłonić połączenie. Z badanej próbki kompozytu precyzyjnie wycina się małe belki, np. za pomocą elektrodrążarki. Belki te umieszczane są w specjalnym uchwycie i elektrotrawione, aż do uzyskania mikrodrutów z wypreparowanym interfejsem. Konstrukcja uchwytu umożliwia precyzyjne sterowanie elektrotrawieniem. Po wytrawieniu próbki, uchwyt jest montowany w mikrozrywarce, w której pomiar siły (z dokładnością do 0,1mN) dokonywany jest przez tensometry naklejone na płaskie sprężyny. Wydłużenie bazy pomiarowej mierzone jest metodami optycznymi,

wykorzystując kamerę szybko klatkową i cyfrową korelację obrazów. Wytrzymałość interfejsu na rozciąganie wyznaczano z ilorazu siły potrzebnej do zerwania drutu w interfejsie oraz powierzchni kontaktu (do tej sprawy powrócę w następnym rozdziale recenzji). Powierzchnię kontaktu wyznacza się na podstawie analizy mikroskopowej powierzchni przełomu próbki. W przypadku małych cząstek (o wymiarach mniejszych niż 5  $\mu\text{m}$ ) wykorzystuje się skaningowy mikroskop elektronowy, a w przypadku większych cząstek - mikroskop optyczny wyposażony w opcję EFI (Extended Focal Image).

2. Bardzo ważne miejsce w dorobku Habilitanta zajmuje konstrukcja innowacyjnych urządzeń badawczych, takich jak: reometr, który jest wykorzystywany np. do badań anizotropii lepkości w cieczach magnetoreologicznych, trybometr do pomiarów tarcia i zużycia warstw wierzchnich (szczególnie nanokrystalicznych), nanozrywarka do badania efektów skali oraz pomiarów sił adhezji w kompozytach oraz kalibrator siły bocznej do mikroskopu sił atomowych (AFM) umożliwiający ścinanie mikro- i nanowież oraz badanie tarcia i zużycia w skali nano z większą dokładnością niż dotychczas (błąd pomiaru rzędu 3%). Do wyznaczenia stałej kalibracji (LFCC - – Lateral Force Calibration Constant) zbudowano czujnik siły wykonany w technologii MEMS. Wykorzystano w nim czujnik siły (o zakresie 100  $\mu\text{N}$  i rozdzielczości 5 nN) z zaawansowaną elektroniką do bezpośredniego pomiaru siły tarcia wywieranej przez końcówkę dźwigni pomiarowej mikroskopu sił atomowych na płaską powierzchnię jego belki pomiarowej.
3. Istotnym osiągnięciem Kandydata są wyniki badań doświadczalnych wpływu wielkości i koncentracji cząstek na właściwości mechaniczne, a w szczególności na wytrzymałość interfejsu, w kompozycie  $\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$  wytworzonego metodą spiekania proszków. W pierwszym etapie badania przeprowadzono dla trzech objętości fazy ceramicznej (2, 5 i 10%), a w drugim etapie dla dwóch rodzajów próbek wykonanych z tego kompozytu: z małymi cząstkami (mniejszymi niż 3  $\mu\text{m}$ ) oraz dużymi (180  $\mu\text{m}$ ), przy stałej objętościowej zawartości ceramiki wynoszącej 5%. Wykonano badania mikroindentacji wgłębniakiem Vickersa oraz pomiary sił adhezji pomiędzy cząstkami  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a miedzianą osnową. Najwyższą twardość, sztywność i wytrzymałość uzyskano dla próbek z 5% udziałem ceramiki, a najniższą dla próbek z udziałem 10% (z powodu zwiększonej porowatości osnowy, potwierdzonej mniejszą gęstością względną). W drugim etapie badań większą twardość i wytrzymałość na rozciąganie otrzymano dla próbek z dużymi cząstkami ceramiki, natomiast wytrzymałość na zginanie była zdecydowanie większa w przypadku próbek z małymi cząstkami  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Przeprowadzono także szczegółową analizę mikrostruktury materiału próbek z wykorzystaniem zarówno elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM), jak i elektronowego mikroskopu transmisyjnego (TEM).
4. Kolejnym osiągnięciem Habilitanta są wyniki badań doświadczalnych wpływu warstwy ochronnej pokrywającej cząstki ceramiki (osadzonym techniką PVD tytanem, chromem lub wolframem) na wytrzymałość interfejsu  $\text{Cu}/\text{SiC}$  na rozciąganie. Warstwy te poprawiają adhezję pomiędzy ceramiką a osnową oraz chronią ceramikę przed dekompozycją w podwyższonej temperaturze. Badania wykonano na próbkach zawierających 10% objętości ceramiki. Najwyższą wytrzymałość granicy międzyfazowej



na rozciąganie otrzymano dla warstwy ochronnej chromu, a najniższą - dla cząstek pokrytych tytanem. Na podstawie badań mikroskopowych zidentyfikowano także mechanizm pęknięcia granicy międzyfazowej (z uwzględnieniem warstwy ochronnej chromu). Pęknięcie następowało bowiem na wskroś tej warstwy, gdyż fragmenty tej warstwy były widoczne na przelomie zarówno na cząstce ceramiki, jak i metalowej osnowie.

5. Istotne miejsce w dorobku Habilitanta zajmują wyniki badań właściwości mechanicznych kompozytów metalowo-ceramicznych (w szczególności Ni/SiC) wytwarzanych techniką koelektrodepozycji. Charakteryzują się one słabymi wiązaniami pomiędzy cząstkami ceramiki i osadzonym metalem, a przez to niską wytrzymałością na rozciąganie. Badania przeprowadzono na próbkach z kompozytów Ni/SiC z 10% zawartością SiC (nieaktywowanego chemicznie). W testach rozciągania uzyskano wartości modułu sprężystości ( $67 \pm 8$  GPa) oraz wytrzymałości na rozciąganie ( $230 \pm 15$  MPa), znacznie niższe niż dla czystego niklu. Niezbędne były zatem wyznaczenie wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie granicy międzyfazowej pomiędzy Ni i SiC. Wykorzystano do tego celu specjalne próbki z dużą i płaską granicą międzyfazową. Otrzymano bardzo niskie wartości wytrzymałości interfejsu na rozciąganie (tylko  $0,10 \pm 0,03$  MPa) oraz na ścinanie ( $4,9 \pm 0,2$  MPa), świadczące o konieczności zastosowania w kompozycie dodatkowej powłoki metalowej na cząstkach ceramiki.
6. Kandydat przedstawił ponadto oryginalne wyniki badań eksperymentalnych właściwości mechanicznych kompozytów składających się z osadzonych galwanicznie warstw niklu i koosadzonych cząstek ceramiki SiC z ochronną powłoką miedzi. Powłoka ta spowodowała zwiększenie koncentracji cząstek ceramicznych w kompozycie w stosunku do kompozytu zawierającego niepowlekanie cząstki (z 10% do 15% objętości). Zwrócono uwagę na fakt zwiększenia modułu Younga oraz obniżenia wytrzymałości na rozciąganie kompozytu Ni/SiC-Cu w porównaniu do czystego niklu. Wyjaśniły to badania doświadczalne warstwy przejściowej: jej mikrostruktury przy użyciu mikroskopu elektronowego (SEM) oraz jej wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie. Co prawda wprowadzenie ochronnej powłoki miedzi zwiększa wytrzymałość interfejsu, ale nadal jest to mała poprawa w stosunku do wytrzymałości materiału litego (Ni). Badania doświadczalne uzupełniono o modelowanie numeryczne za pomocą metody elementów skończonych. Chociaż do modelowania połączenia metal/ceramika zastosowano elementy kohezyjne, nie otrzymano zadawalającej zgodności z wynikami badań eksperymentalnych.

### I.3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Oceniany cykl publikacji powiązanych tematycznie (z uwzględnieniem wkładu Kandydata w poszczególne publikacje) charakteryzuje się dość zróżnicowanym poziomem merytorycznym. Oprócz wysoko ocenianym przeze mnie wyników i metod badań doświadczalnych, znajdują się też zdecydowanie niżej ocenione wyniki obliczeń i

modelowania numerycznego, gdzie szereg kwestii wymaga wyjaśnienia. Uwagi krytyczne do tej części, w pewnej mierze być może dyskusyjne, zamieściłem poniżej.

1. Zacznę od sposobu wyznaczania wytrzymałości na rozciąganie granicy międzyfazowej pomiędzy cząstkami ceramiki a metalową osnową na podstawie badań doświadczalnych. Kandydat prowadził badania doświadczalne na specjalnych próbkach w kształcie mikrodrutów z wypreparowanym interfejsem. Próbki te mają jednak dość złożony kształt, co wywołuje niejednorodny rozkład naprężeń osiowych, a także występowanie składowych stycznych wektora naprężenia na płaszczyźnie warstwy przejściowej. Naprężenia tnące zawsze występują bowiem w przypadku, gdy następuje skokowa zmiana sztywności materiału (a przecież moduły sprężystości cząstek i osnowy są różne) oraz w przypadku, gdy płaszczyzna granicy międzyfazowej nie jest prostopadła do kierunku rozciągania (bardzo trudno jest zapewnić jej prostopadłość w eksperymencie). A zatem wyznaczanie wytrzymałości interfejsu na rozciąganie wyznaczonej jako ilorazu siły potrzebnej do zerwania drutu w interfejsie oraz powierzchni kontaktu może prowadzić do istotnych błędów. Badania doświadczalne powinny być uzupełnione o obliczenia numeryczne za pomocą metody elementów skończonych (MES) pól naprężeń i odkształceń w obciążonej próbce. Dokładny kształt próbki można wyznaczyć np. za pomocą mikrotomografii komputerowej. Obrazy mikrotomograficzne kompozytu można w dość łatwy sposób przetworzyć w geometryczne modele CAD, a następnie w modele przestrzenne MES. W tym celu wykorzystuje się specjalistyczne oprogramowanie (np. Mimics lub Avizo Fire). Szczególnie ważna jest identyfikacja właściwości właśnie interfejsu, w celu odpowiedniego dobrania parametrów np. elementów kohezyjnych, przyjętych do obliczeń.
2. Jeszcze bardziej krytycznie odnoszę się do prób wyznaczania przez Habilitanta wartości krytycznych naprężeń w próbach mimośrodowego rozciągania lub ścinania (np. w teście wyciągania włókna) z wykorzystaniem wzoru „siła przez przekrój”. Nierównomierny rozkład naprężeń w tych przypadkach jest ogólnie znany. Wymaga to zastosowania znacznie bardziej rozbudowanych wzorów, ale jeszcze lepiej – obliczeń numerycznych np. za pomocą metody elementów skończonych. W tym przypadku krytyczną wartość naprężeń (odpowiadającą wytrzymałości interfejsu) należy utożsamiać z wartością maksymalną naprężeń otrzymaną w obliczeniach (dla krytycznej wartości obciążenia).  
Podobna do poprzednio wymienionych sytuacja ma miejsce także w przypadku pomiarów wytrzymałości połączenia Cu/SiC na ścinanie przy pomocy mikroskopu sił atomowych. Mikrokolumna obciążona jest siłą skupioną, która wywołuje niejednorodny rozkład naprężenia tnącego na granicy międzyfazowej. Występuje także naprężenie normalne na tej płaszczyźnie. Należało przynajmniej oszacować jego wartość w stosunku do maksymalnej wartości naprężenia tnącego.
3. Kolejna uwaga krytyczna dotyczy modelowania numerycznego za pomocą metody elementów skończonych pól naprężeń i odkształceń w próbkach wykonanych z kompozytów metalowo-ceramicznych Ni/SiC w warunkach jednoosiowego rozciągania. Początkowo założono idealny kontakt pomiędzy cząstkami ceramiki i metalową osnową, co spowodowało w sposób oczywisty znacznie zawyżone wartości sztywności i

wytrzymałości kompozytu. Wyniki tych obliczeń mogą być traktowane tylko jako porównawcze (dla przypadku „idealnego” kompozytu). Na podstawie licznych wyników badań doświadczalnych Habilitant próbował stworzyć model numeryczny kompozytu z „rzeczywistym” (jak sam napisał) interfejsem. Założono okresowe warunki brzegowe, a połączenie Ni/SiC zostało zamodelowane przy użyciu elementów kohezyjnych. Przeprowadzono modelowanie dla dwóch przypadków: w pierwszym wtrącenia SiC były przyjęte w postaci kul, a w drugim – w postaci sześciątów. Dlaczego nie przeprowadzono obliczeń dla rzeczywistego kształtu wtrąceń? Przecież można je wyznaczyć doświadczalnie, np. za pomocą wspomnianej już mikrotomografii komputerowej. Dotyczy to także wielkości i rozmieszczenia wtrąceń ceramicznych w metalowej osnowie. Przedstawione w publikacjach wyniki modelowania dalekie jednak były od wyników badań eksperymentalnych. Nawet wyznaczone początkowe moduły sprężystości obciążone były dużym błędem. Czym to mogłoby być spowodowane? Zapewne błędną identyfikacją parametrów modelu kohezyjnego, założonego w elementach skończonych. Prawdopodobnie pominięto występowanie początkowych mikropęknięć na granicy cząstek ceramiki z metalową osnową. Świadczy o tym sformułowanie użyte przez Kandydata, dotyczące równości „modułu sprężystości” dla małych obciążeń, zarówno w przypadku idealnego, jak i rzeczywistego interfejsu.

4. Podobne uwagi krytyczne do powyższych można sformułować w odniesieniu do modelowania numerycznego za pomocą metody elementów skończonych pól naprężeń i odkształceń w próbkach wykonanych z kompozytów metalowo-ceramicznych Ni/SiC z ochronną powłoką miedzi (Ni/SiC-Cu), w warunkach jednoosiowego rozciągania. Także w tym przypadku zbieżność wyników obliczeń i badań eksperymentalnych nie jest wystarczająca, ale przynajmniej początkowe moduły sprężystości się zgadzają. Wraz ze wzrostem odkształcenia rośnie rozbieżność wyników, co świadczy albo o błędnej identyfikacji parametrów przyjętego modelu kohezyjnego, albo o niewłaściwie założonej geometrii cząstek w modelu MES (kształt, wielkość i rozmieszczenie ceramicznych wtrąceń).

#### **I.4. Podsumowanie**

Uważam, że zaprezentowane w opiniowanym cyklu prac (z uwzględnieniem wkładu Kandydata w poszczególne publikacje) osiągnięcia, a w szczególności wyniki badań doświadczalnych właściwości mechanicznych kompozytów metalowo-ceramicznych z wykorzystaniem oryginalnych metod badawczych, należy ocenić pozytywnie. Znacznie niżej oceniam wyniki i metody obliczeń krytycznych wartości naprężeń oraz modelowania numerycznego (za pomocą metody elementów skończonych) pól naprężeń i odkształceń w kompozytach metalowo-ceramicznych w testach rozciągania i ścinania. Pomimo jednak uwag krytycznych przedstawionych w poprzednim rozdziale opinii, uważam, że spełniają one (choć tylko w minimalnym stopniu) wymagania stawiane osiągnięciom naukowym w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych. Wnoszą także dość istotny wkład do rozwoju dyscypliny *mechanika* (ale także i *inżynieria materiałowa*).



Należy podkreślić, że większość przedstawionych oryginalnych wyników badań Kandydata zostało opisanych w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (*Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Journal of Materials Engineering and Performance, Ceramics International* (2), *Review of Scientific Instruments, Ultramicroscopy, Composite Structures*), gdzie przeszły pełny proces opiniowania przez specjalistów z zakresu *mechaniki* lub *inżynierii materiałowej*.

## II. Ocena dorobku naukowego

Dr inż. Dariusz Jarzabek ukończył studia magisterskie na kierunku *mechanika i budowa maszyn* (specjalność: *mikromechanika*) na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej w 2010 r. Ponadto uzyskał tytuł zawodowy licencjata na kierunku *fizyka* (specjalność: *fizyka doświadczalna*) na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 2011 r. W latach 2010–2013 był uczestnikiem studiów doktoranckich na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Pracę doktorską zatytułowaną *Metoda badania pęknięcia w skali nano za pomocą mikroskopu sił atomowych (SFM) i jej zastosowania* obronił przed Radą Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej (promotor: prof. Zygmunt Rymuza). Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie: *budowa i eksploatacja maszyn* uzyskał w 2014 r.

Od 2009 r. Kandydat jest zatrudniony w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, najpierw na stanowisku laboranta, następnie – asystenta. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Pracowni Warstwy Wierzchniej Zakładu Mechaniki Materiałów IPPT PAN w Warszawie. Należy dodać, iż w latach 2010-2012 był On doktorantem w Paul Scherrer Institut (Szwajcaria).

Wyłączając publikacje wyszczególnione w cyklu prac powiązanych tematycznie (przedstawione w poprzednich rozdziałach recenzji), na pozostały dorobek naukowy Kandydata wyszczególniony we wniosku, po uzyskaniu przez Niego stopnia doktora nauk technicznych, składa się tylko 10 prac (z czego żadna nie jest samodzielna), w tym:

- 8 współautorskich artykułów w uznanych czasopismach o zasięgu światowym, indeksowanych w bazie Journal Citation Reports,
- 1 współautorski artykuł w innym czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym,
- 1 współautorski rozdział w monografii opublikowanej w wydawnictwie o zasięgu międzynarodowym.

Spośród wyżej wymienionych oryginalnych prac twórczych opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, ze względu na oryginalność tematyczną, rangę wydawnictwa oraz zaangażowanie Kandydata, należy wyróżnić następujących 5 artykułów w uznanych czasopismach naukowych (w nawiasie podałem wartość współczynnika wpływu zgodnie z rokiem wydania artykułu oraz liczbę cytowań według bazy Web of Science Core Collection, nie podałem udziału Kandydata, gdyż nie został podany we wniosku):



- B1. **Jarzabek D.**, Kaufmann A., Schiff A., Rymuza Z., Jung T. (2014), Elastic modulus and fracture strength evaluation on the nanoscale by scanning force microscope experiments. *Nanotechnology*, Vol. 25(21) (IF = 3.672, 13 cytowań),
- B2. Kucharski S., **Jarzabek D.** (2014), Depth dependence of nanoindentation pile-up patterns in copper single crystals, *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 45(11), pp. 4997-5008 (IF = 1.730, 6 cytowań),
- B3. **Jarzabek D.**, Siewert D., Fabianowski W., Schiff H., Rymuza Z., Jung T. (2015), Influence of Alkali Ions on Tribological Properties of Silicon Surface, *Tribology Letters*, Vol. 60(2), pp. 1-8 (IF = 1.739, 1 cytowanie),
- B4. Kucharski S., **Jarzabek D.**, Piątkowska A., Woźniacka S. (2016), Decrease of Nano-hardness at Ultra-low Indentation Depths in Copper Single Crystal, *Experimental Mechanics*, Vol. 56(3), pp.381-393 (IF = 1.548, 8 cytowań),
- B5. **Jarzabek D.**, Gwiazda M., Dera W. (2018), The Influence of Alkali Metal Chloride Treatments on the Wear Resistance of Silicon Surfaces for Possible Use in MEMS, *Tribology Transactions*, Vol. 61(1), pp. 178-184 (IF = 1.658, 0 cytowań),
- B6. Chmielewski M., Pietrzak K., Teodorczyk M., Nosewicz S., **Jarzabek D.**, Zybala R., Bazarnik P., Lewandowska M., Strojny-Nędza A. (2017), Effect of metallic coating on the properties of copper-silicon carbide composites, *Applied Surface Science*, Vol. 421, pp. 159-169 (IF = 3.387, 1 cytowanie).

Pozostałe artykuły zostały opublikowane zarówno w czasopismach indeksowanych w bazie JCR: *Archives of Metallurgy and Materials* (1 praca), *Review of Scientific Instruments* (1 praca), *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* (1 praca), jak i w innym czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym: *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics* (1 praca).

Niestety, we wniosku nie podano informacji na temat udziału Kandydata w konferencjach krajowych i międzynarodowych, a w szczególności referatów jego autorstwa opublikowanych w materiałach konferencyjnych. Na Jego stronie internetowej znalazłem natomiast listę 18 streszczeń konferencyjnych. Na tej podstawie mogę stwierdzić, iż brał On udział w uznanych, cyklicznych konferencjach o zasięgu międzynarodowym, takich jak:

- 7<sup>th</sup> International Conference on Fracture Fatigue and Wear (Ghent 2018),
- 40<sup>th</sup> Solid Mechanics Conference (Warszawa 2016),
- European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, EUROMAT 2015, 2017, (Warsaw 2015, Thessaloniki 2017),
- 8<sup>th</sup> International Colloquium Micro-Tribology (Warsaw 2017).

Sumaryczny współczynnik cytawalności (Impact Factor) wszystkich prac naukowych w czasopismach z listy Journal Citation Reports, autorstwa lub współautorstwa Kandydata, opublikowanych po obronie pracy doktorskiej, wyniósł **35.51** (bez udziału na współautorów), co jest wynikiem bardzo dobrym. Zgodnie z bazą Web of Science Core Collection prace Kandydata były cytowane **92** razy (bez autocytowań – nie podano we

wniosku, obecnie **63** razy). Indeks Hirscha dla Jego dorobku publikacyjnego według tej bazy wynosi **6**. Wynik ten można ocenić pozytywnie w przypadku osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych.

Zainteresowania naukowe Kandydata po uzyskaniu stopnia doktora w zdecydowanej większości pokrywają się z tematyką badawczą zaprezentowaną w powiązonym tematycznie cyklu prac, przedstawionym jako osiągnięcie naukowe. Poza wymienionymi w I rozdziale recenzji, koncentrują się one wokół następujących kierunków badawczych:

- pomiary tarcia i zużycia warstw wierzchnich, szczególnie nanokrystalicznych, odpornych na zużycie (np. w łożyskach),
- badania doświadczalne anizotropii lepkości w cieczach magnetoreologicznych,
- eksperymentalne wyznaczanie właściwości mechanicznych nanowięz, nanokolumn i nanodrutów wykonanych z monokryształów lub materiałów nanokrystalicznych,
- badania doświadczalne mechaniki odkształceń plastycznych w monokryształach oraz badanie efektów skali.

Wysoko oceniam dorobek dr inż. Dariusza Jarząbka w zakresie realizacji projektów badawczych i prac rozwojowych. Po uzyskaniu stopnia doktora był On bowiem kierownikiem aż 4 następujących projektów:

- *Zewnętrzne i wewnętrzne efekty skali oraz ich sprzężenie w pojedynczych kryształach oraz materiałach nanokrystalicznych badane przy pomocy ściskania, rozciągania i zgnania nanokolumn oraz nanodrutów*, projekt Narodowego Centrum Nauki w programie SONATA, realizowany w latach 2016-2019,
- *Konstrukcja kompaktowej nanozrywarki*, projekt Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w programie LIDER, realizowany w latach 2016-2019,
- *Technika badawcza oraz urządzenie do pomiarów właściwości lepkosprężystych materiałów w skali nano*, projekt Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej w programie IMPULS współfinansowanym przez UE w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, realizowany w 2015 r.,
- *Badanie adhezji pomiędzy cząstkami ceramiki a metalem w kompozytach ceramiczno-metalowych*, projekt Narodowego Centrum Nauki w programie PRELUDIUM, realizowany w latach 2013-2014.

Ponadto był wykonawcą międzynarodowego projektu pod nazwą *3-Scale modeling for robust design of vibrating micro sensors*, realizowanego w latach 2012-2015 przez sześciu partnerów z Belgii, Rumunii i Polski w ramach programu ERA-NET+ (7 Program Ramowy UE).

Kandydat jest współautorem patentu:

- **Jarząbek D.**, Dera W., Dziekoński C. (2016), *Urządzenie do pomiaru lepkości cienkich warstw materiałów lepkosprężystych*, PL 419571, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN,

a także autorem lub współautorem 4 zgłoszeń patentowych, w tym jednego europejskiego. Nie ma natomiast żadnego dorobku w zakresie transferu technologii i komercjalizacji wyników badań.

W swojej dokumentacji Habilitant nie zamieścił informacji na temat współpracy z ośrodkami zagranicznymi, staży w krajowych lub zagranicznych ośrodkach naukowych, po uzyskaniu stopnia doktora. O ile staży naukowych zapewne nie było, to jednak współpraca naukowa z Paul Scherrer Institut w Szwajcarii ma miejsce i jest potwierdzona publikacjami w uznanych czasopismach naukowych (np. [B1] i [B3]).

Podsumowując, dorobek naukowy dr inż. Dariusza Jarzabka (z wyłączeniem publikacji wyszczególnionych w osiągnięciu naukowym) oceniam pozytywnie. Na wysoką ocenę zasługuje współautorstwo 8 artykułów w uznanych czasopismach, indeksowanych w JCR (*Nanotechnology*, *Metallurgical and Materials Transactions A*, *Experimental Mechanics*, *Tribology Transactions*, *Applied Surface Science*, *Review of Scientific Instruments*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* oraz *Archives of Metallurgy and Materials*), 63 razy cytowanych przez innych badaczy oraz duża aktywność w realizacji projektów badawczych lub prac rozwojowych.

### **III. Ocena dorobku dydaktycznego, organizacyjnego i w zakresie popularyzacji nauki**

**Dorobek organizacyjny** Kandydata po uzyskaniu przez niego stopnia doktora nie został w dokumentacji wyszczególniony. Habilitant nie podał także we wniosku żadnych informacji dotyczących członkostwa w międzynarodowych lub krajowych towarzystwach naukowych.

Dr inż. Dariusz Jarzabek ma natomiast dorobek w zakresie recenzowania artykułów naukowych. Był On opiniodawcą prac nadsyłanych do uznanych czasopism o zasięgu międzynarodowym, także indeksowanych w bazie JCR, takich jak: *Materials Science and Engineering A* (IF = 2.647), *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures* oraz *Bulletin of Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. Od 2017 r. jest także ekspertem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oceniającym wnioski o finansowanie projektów.

**Dorobek dydaktyczny** dr inż. Dariusza Jarzabka związany jest z kształceniem studentów w Politechnice Warszawskiej, gdzie w 2013 r. ukończył Seminarium Pedagogiczne. Nieliczne Jego osiągnięcia można zawrzeć w 2 następujących punktach:

- prowadzenie wykładów oraz przygotowanie autorskiego programu nauczania w zakresie przedmiotu: *trybologia i mikrotrybologia* (od 2016 r.),
- promotorstwo 5 prac dyplomowych, w tym 1 pracy magisterskiej, na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

Należy podkreślić to, że Habilitant pełni funkcję promotora pomocniczego w 2 przewodach doktorskich: mgr inż. Marcina Michałowskiego na Wydziale Mechatroniki

Politechniki Warszawskiej oraz mgr inż. Leszka Frąsia w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie.

Jeśli chodzi o działalność dr inż. Dariusza Jarzębka **w zakresie popularyzacji nauki** to ogranicza się ona tylko do uczestniczenia w Festiwalu Nauki – prowadzenie po laboratoriach i wygłaszanie części wykładu wprowadzającego (od 2014 r.).

Za osiągnięcia w pracy naukowej, po uzyskaniu stopnia doktora, Kandydat został wyróżniony Nagrodą Naukową Komitetu Mechaniki PAN II stopnia (w 2018 r.) oraz trzykrotnie Nagrodą Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe, raz I i dwa razy II stopnia (w 2015, 2016 i 2017 r.).

Przedstawiony do oceny dorobek dydaktyczny, organizacyjny i w zakresie popularyzacji nauki dr inż. Dariusza Jarzębka oceniam niezbyt wysoko, nawet biorąc pod uwagę Jego zatrudnienie poza szkolnictwem wyższym. Na podkreślenie zasługuje jedynie promotorstwo pomocnicze w 2 przewodach doktorskich realizowanych w Politechnice Warszawskiej i w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, a także recenzowanie prac w 3 uznanych czasopismach naukowych.

#### **IV. Ocena końcowa**

Podsumowując ocenę dorobku, przede wszystkim naukowego, w tym osiągnięcia naukowego dr inż. Dariusza Jarzębka, stwierdzam, że:

- 1) przedstawiony cykl publikacji naukowych powiązanych tematycznie (z uwzględnieniem wkładu Kandydata w poszczególne publikacje) spełnia w stopniu minimalnym wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych. Osiągnięcia w nim przedstawione (nowe metody eksperymentalne badań właściwości mechanicznych, w szczególności wytrzymałościowych, kompozytów metalowo-ceramicznych) wnoszą istotny wkład do rozwoju dyscypliny *mechanika* i mają zastosowanie praktyczne (w ocenie metod ich wytwarzania oraz przydatności do celów konstrukcyjnych);
- 2) Habilitant wykazał się bardzo dobrą znajomością zaawansowanych metod doświadczalnych mechaniki, w szczególności dotyczących wyznaczania właściwości mechanicznych materiałów niejednorodnych, a także umiejętnością wykorzystywania w badaniach zaawansowanych urządzeń, takich jak: mikroskop sił atomowych, nanoindenter, maszyny zużyciowe, skaningowy mikroskop elektronowy, FIB, spektrofotometr rentgenowski. Nabył także umiejętność wytwarzania nanostruktur przy pomocy fotolitografii oraz NIL;
- 3) bardzo krytycznie oceniam natomiast zaprezentowane w publikacjach Kandydata, najogólniej mówiąc, analityczne i numeryczne metody (za pomocą metody elementów skończonych) wyznaczania pól naprężeń i odkształceń w próbkach wykonanych z kompozytu o osnowie metalowej z ceramiczną fazą wzmacniającą. Niestety, świadczy to



o niepełnej Jego wiedzy z zakresu mechaniki ciała stałego oraz metod komputerowych mechaniki;

- 4) całościowy dorobek publikacyjny Kandydata, po uzyskaniu przez Niego stopnia doktora nauk technicznych, moim zdaniem, zdecydowanie przewyższa ten wymagany do uzyskania stopnia doktora habilitowanego (aż 21 publikacji w uznanych czasopismach o zasięgu światowym, indeksowanych w bazie JCR, 63 razy cytowanych przez innych autorów). Na wysoką ocenę zasługuje również Jego duża aktywność w realizacji projektów badawczych i prac rozwojowych;
- 5) dorobek dydaktyczny, organizacyjny oraz w zakresie popularyzacji nauki Habilitanta ogranicza się do promotorstwa pomocniczego w 2 przewodach doktorskich realizowanych w Politechnice Warszawskiej i w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, promotorstwa 5 prac dyplomowych oraz przygotowania jednego wykładu, a także recenzowania prac w 3 uznanych czasopismach naukowych.

Moją pozytywną ocenę obniża nieuwzględnienie we wniosku dorobku naukowego związanego z udziałem w konferencjach, krajowych i zagranicznych, a także informacji na temat współpracy z innymi ośrodkami naukowymi (szczególnie zagranicznymi) po uzyskaniu stopnia doktora. Brakuje wyszczególnienia osiągnięć organizacyjnych. Ponadto w dokumentacji zamieszczono błędne opisy wielkości występujących na niektórych wykresach. Utrudniło to recenzentowi przygotowanie opinii.

**Uważam, że cykl publikacji powiązanych tematycznie oraz dotychczasowy dorobek naukowy, dydaktyczny, organizacyjny oraz w zakresie popularyzacji nauki dr inż. Dariusza Jarzabka, pomimo przedstawionych uwag krytycznych, spełniają wymagania stawiane osobom ubiegającym się o stopień naukowy doktora habilitowanego przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami*. W związku z tym, popieram, aczkolwiek bez entuzjazmu, wniossek o nadanie dr inż. Dariuszowi Jarzabkowi stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie *mechanika*.**

