



Gdańsk, dnia 30.01.2024

Prof. dr hab. inż. Alicja Krella
Zakład Procesów Erozyjnych
Ośrodek Hydrodynamiki
Instytut Maszyn Przepływowych PAN
Ul. Fiszer 14
80-231 Gdańsk

RECENZJA

Dotyczy wniosku o nadanie dr inż. Dariuszowi Bartkowskiemu
stopnia naukowego doktora habilitowanego na podstawie osiągnięcia naukowego
***„Zastosowanie metod obróbki laserowej w wytwarzaniu kompozytowych warstw
powierzchniowych wzmacnianych cząstkami węglików”***

1. Informacje formalne

Podstawą opracowania recenzji są 1) upoważnienie Rady Doskonałości Naukowej z dnia 5 września 2023 roku o numerze DRKN.Z2.400.184.2023, 2) uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 18 grudnia 2023 r. nr 1/II/12/20123 w sprawie wyznaczenia członków komisji habilitacyjnej w postępowaniu dotyczącym nadania stopnia doktora habilitowanego drowi inż. Dariuszowi Bartkowskiemu w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz 3) pismo nr 075.544.2023 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP z dnia 19.12.2023, do którego dołączono kopię dokumentacji wniosku skierowanego przez Habilitanta do Rady Doskonałości Naukowej z dnia 01.09.2023. Podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jest cykl powiązanych tematycznie 11 artykułów naukowych wspomaganych 2 uzyskanymi patentami i 1 zgłoszeniem patentowym.

2. Podstawowe dane o kandydacie

Dr inż. Dariusz Bartkowski u... W 2011 roku uzyskał tytuł inżyniera na kierunku Inżynieria Materiałowa na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej na podstawie pracy inżynierskiej pt. „*Niobowanie tytanu*”, której opiekunem był dr hab. Andrzej Młynarczyk, prof. PP. W 2012 roku na podstawie pracy magisterskiej pt. „*Wpływ borowania dyfuzyjnego na trwałość narzędzi rolniczych pracujących w glebie*”, której opiekunem naukowym był dr hab. Andrzej Młynarczyk, prof. PP, uzyskał stopień magistra na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Praca magisterska uzyskała wyróżnienie II stopnia w XIII edycji Ogólnopolskiego Konkursu o dyplom i nagrodę Prezesa SIMP na najlepszą pracę dyplomową o profilu mechanicznym wykonaną i obronioną w krajowej wyższej szkole technicznej w roku akademickim 2011/2012. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa Habilitant uzyskał w 03 lipca 2015 roku na podstawie rozprawy doktorskiej pt. „*Kompozytowe warstwy powierzchniowe w układzie osnowa metaliczna – faza międzywęzłowa napawane laserowo na niskowęglowych stalach konstrukcyjnych*”.

Promotorem był dr hab. Andrzej Młynarczyk, prof. PP, a promotorem pomocniczym był dr inż. Adam Piasecki. Stopień został nadany przez Radę Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Recenzentami rozprawy doktorskiej byli: prof. dr hab. inż. Jerzy Michalski z Instytutu Mechaniki Precyzyjnej i dr hab. inż. Jerzy Smolik z Instytutu Technologii Eksploatacji.

Od 01 października 2012 roku Habilitant jest zatrudniony na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. W 2020 roku Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania zmienił nazwę na Wydział Inżynierii Mechanicznej, w związku z wprowadzonymi przepisami MNiSW dotyczącymi ewaluacji jednostek naukowych i zmianą dyscyplin. Początkowo Habilitant był zatrudniony na stanowisku doktoranta, następnie na stanowisku asystenta, a obecnie jest na stanowisku adiunkta.

3. Ocena osiągnięcia naukowego wskazanego dla uzyskania stopnie doktora habilitowanego

3.1. Tematyka osiągnięcia

Dr inż. Dariusz Bartkowski przedstawił do oceny osiągnięcie naukowe pt. *„Zastosowanie metod obróbki laserowej w wytwarzaniu kompozytowych warstw powierzchniowych wzmacnianych cząstkami węglików”*.

Tematyka wytwarzania przeciw-zużyciowych warstw była realizowana przez Habilitanta już w jego pracy magisterskiej. Wówczas zastosowana metodą było borowanie. Tematyka zwiększania odporności warstwy wierzchniej na zużycie była kontynuowana w pracy doktorskiej. Zastosowaną metodą wytwarzanie warstw była metoda proszkowego napawania laserowego (ang. laser cladding). Wytworzone warstwy były warstwami kompozytowymi, w których stop Stellite-6 był osnową, a węgliki wolframu fazą wzmacniającą. Po obronie doktoratu, Habilitant kontynuował badania warstw powierzchniowych wzmacnianych węglikiem wolframu. Niemniej rozszerzył tematykę badawczą o wytwarzanie warstw powierzchniowych o osnowie innej niż nikiel i jego stopy oraz zastosował następujące cząstki pierwotne jako fazy wzmacniające: cząstki węgliku wolframu (WC), wanadu (VC), cyrkonu (ZrC), chromu (Cr₃C₂) oraz tantalu (TaC). Podczas prac badawczych oprócz laserowego napawania proszkowego (ang. laser cladding) wykorzystał również stopowanie laserowe warstwy wstępnej w postaci pasty oraz przetapianie laserowe wcześniej wytworzonej dyfuzyjnej warstwy powierzchniowej. Zatem, mimo kontynuacji tematyki, tj. wytwarzanie przeciwzużyciowych warstw powierzchniowych, tematyka badawcza została rozszerzona w stopniu istotnym. Habilitant w swoim osiągnięciu naukowym skupił się na doborze parametrów wytwarzania oraz oceną wpływu tych parametrów na końcowe właściwości warstw powierzchniowych, jak również wpływem grubości warstw wstępnych i wielkości proszku na wytworzone warstwy. Prace badawcze dotyczyły wytwarzania warstw powierzchniowych głównie na stalach. Niemniej, w jednotematycznym cyklu artykułów naukowych zawarł również pracę związaną z warstwą kompozytową wytworzoną na jednofazowym stopie nikolowo-miedziowym Monel-400. Głównym celem naukowym badań było opracowanie nowych warstw powierzchniowych wzmacnianych cząstkami węglików metali wraz z wyznaczeniem parametrów ich wytwarzania.

Jako dokumentację osiągnięcia Dr inż. Dariusz Bartkowski wskazał cykl 11 artykułów, z których 9 zostało opublikowanych w czasopismach wydawnictwa MDPI: 6 w czasopiśmie *Materials* i 3 w czasopiśmie *Coatings*, a pozostałe 2 prace zostały opublikowane w czasopismach wydawnictwa Elsevier: po 1 w *Optics & Laser Technology* i w *International*

Journal of Advanced Manufacturing Technology. W czasopiśmie *Materials* wydawnictwa MDPI zostały opublikowane dwie publikacje autorskie Habilitanta w 2021 i 2022.

3.2. Cykl publikacji

Na cykl powiązanych tematycznie publikacji osiągnięcia naukowego zostały wybrane następujące prace:

1. Bartkowski D.*, Bartkowska A, Olszewska J., Przestacki D., Ulbrich D.:
Stellite-6/(WC+TiC) Composite Coatings Produced by Laser Alloying on S355 Steel.
Materials 2023, 16(14), 5000-1 - 5000-19. DOI: 10.3390/ma16145000.
2. Bartkowski D.*, Bartkowska A, Popielarski P, Hajkowski J, Piasecki A.:
Characterization of W–Cr Metal Matrix Composite Coatings Reinforced with WC
Particles Produced on Low-Carbon Steel Using Laser Processing of Precoat.
Materials 2020, 13(22), 5272. DOI: 10.3390/ma13225272.
3. Bartkowski D.*, Bartkowska A.:
Manufacturing Process, Microstructure and PhysicoMechanical Properties of W-Cr
Coatings Reinforced by Cr₃C₂ Phase Produced on Tool Steel through Laser Processing.
Materials 2023, 16(13), 4542-1 - 4542-27. DOI: 10.3390/ma16134542.
4. Bartkowski D.*, Bartkowska A., Piasecki A., Jurči P.:
Influence of Laser Cladding Parameters on Microstructure, Microhardness, Chemical
Composition, Wear and Corrosion Resistance of Fe–B Composite Coatings Reinforced
with B₄C and Si Particles.
Coatings 2020, 10(9), 809-1-809-18; DOI: 10.3390/coatings10090809.
5. Bartkowski D.*, Bartkowska A, Jurči P.:
Laser cladding process of Fe/WC metal matrix composite coatings on low carbon steel
using Yb: YAG disk.
Optics & Laser Technology 2021, 136, 106784. DOI: 10.1016/j.optlastec.2020.106784.
6. Bartkowski D.*:
Influence of laser beam power on microstructure and microhardness of Fe/ZrC coatings
produced on steel using laser processing - preliminary study on the single laser tracks.
Materials 2022, 15(3), 758-1-758-20, DOI: 10.3390/ma15030758.
7. Bartkowski D.*, Bartkowska A., Jurči P., Kusý M., Przestacki D., Ulbrich D.:
The effect of the diode laser beam power on the behaviour of the ZrC powder pre-coat
and the 145Cr6 steel substrate during laser processing.
The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2023, DOI:
10.1007/s00170-023-12064-y.
8. Bartkowski D.*, Bartkowska A., Jurči P., Przestacki D.:
Influence of manufacturing parameters on microstructure, chemical composition,
microhardness, corrosion and wear resistance of ZrC coatings produced on Monel®400
using laser processing technology.
Coatings 2022, 12(5), 651-1-651-26, DOI: 10.3390/coatings12050651.
9. Bartkowski D.*:
Manufacturing technology and properties of Fe/TaC metal matrix composite coatings
produced on medium carbon steel using laser processing - preliminary study on the single
laser tracks.
Materials 2021, 14(18), 5367-1-5367-17. DOI: 10.3390/ma14185367.

10. Bartkowski D.*, Bartkowska A.:
Fe/TaC coatings produced on 145Cr6 steel by laser alloying – manufacturing parameters and material characterization.
Coatings 2023, 13(8), 1432. DOI: 10.3390/coatings13081432.
11. Bartkowski D.*, Bartkowska A., Przestacki D., Jurči P., Kieruj P.:
Microstructure and selected properties of iron–vanadium coatings obtained by the laser processing of a VC pre-coat applied on steel – single and multiple laser tracks study.
Materials 2022, 15(18), 6417-1-6417-20, DOI: 10.3390/ma15186417.

3.3. Ocena cyklu powiązanych tematycznie publikacji

W pracy [1] będącej kontynuacją badań Habilitanta nad warstwami powierzchniowymi z osnową ze stopu Stellite-6, na wzmocnienie wybrał cząstki mieszaniny węgla wolframu i tytanu (WC+TiC). Wspomniane materiały w postaci proszków stanowiły bazę dla past, które nakładano na podłoże wykonane ze stali węglowej S355. Materiałem wiążącym proszki były szkło wodne oraz woda destylowana. Zastosowano pasty z 40% i 60% udziałem proszków fazy wzmacniającej, tj. mieszaniny WC+TiC w proporcji 50:50, w stosunku do osnowy. Przy wytworzeniu warstw powierzchniowych Habilitant zastosował metodę przetapiania laserowego warstwy wstępnej wykonanej z pasty z użyciem pędzla. Badany był wpływ gęstości mocy lasera i zawartości cząstek wzmacniających w stosunku do osnowy na twardość i odporność na zużycie przez tarcie wytworzonych warstw powierzchniowych. Proces stopowania prowadzony był wiązką lasera diodowego z zastosowaniem trzech gęstości mocy wiązki lasera, jednej prędkości posuwu i 50% nakładaniem się ścieżek. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem gęstości mocy wiązki lasera zwiększa się głębokość strefy przetopienia, średnia grubość strefy przetopienia zmniejszała się wraz ze wzrostem zawartości fazy wzmacniającej (WC+TiC) w paście oraz różnice w grubości strefy przetopienia były tym większe, im mniejszą gęstość mocy wiązki lasera zastosowano. Zatem, gęstość mocy wiązki lasera i ilość fazy wzmacniającej decydują o uzyskanej twardości warstwy powierzchniowej: 1) ze wzrostem gęstości mocy lasera twardość wytworzonych warstw malała oraz 2) wzrost zawartości fazy wzmacniającej przyczynił się do zmniejszenia twardości. Badania odporności na zużycie w warunkach tarcia suchego wykazały, że wraz ze wzrostem gęstości mocy wiązki lasera odporność na zużycie przez tarcie pogarsza się. Również zbyt duża ilość fazy wzmacniającej powodowała pogorszenie odporności na zużycie. Habilitant przeprowadził badania mikroskopowe i w sposób merytoryczny uzasadnił zaobserwowane korelacje oraz struktury warstw powierzchniowych. Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy [1] był większościowy.

W pracy [2] Habilitant była autorem koncepcji całej pracy oraz zaproponował zastosowanie mieszaniny wolframu i chromu (W-Cr) jako osnowę dla opracowywanych past, do której dodana była faza wzmacniająca w postaci proszku WC w ilości 0%, 25%, 50%, 75% i 100% wag. W badaniach tych Habilitant skupił się na wpływie zawartości fazy wzmacniającej na własności wytworzonych warstw powierzchniowych. Stwierdzono, że wraz ze zwiększeniem zawartości fazy wzmacniającej WC w osnowie W-Cr, grubość warstwy malała, natomiast twardość warstw zwiększała się. Niemniej, zastosowanie 25% WC wypłynęło tylko w niewielkim stopniu na wzrost twardości. Dodatek fazy wzmacniającej miał istotny wpływ na odporność na zużycie przez tarcie, przy czym największy (dwukrotny) spadek ubytku masy uzyskano dla 25% zawartości WC. Dalszy wzrost zawartości WC obniżał ubytki masy (wzrost odporności) w znacznie mniejszym stopniu. Warstwa zawierająca 100% WC nie osiągnęła

największej odporności na zużycie, co było spowodowane wysoką twardością i podatnością na pękanie. Habilitant przeprowadził szczegółowe badania mikroskopowe oraz ich analizę, współuczestniczył w badaniach własności mechanicznych i strukturalnych oraz analizy uzyskanych wyników. Wykazał możliwość wytworzenia twardych i odpornych na zużycie przez tarcie kompozytowych warstw powierzchniowych przy użyciu osnowy niebędącej komercyjnym stopem oraz udowodnił, że wzrost ilości cząstek wzmacniających wpływa na zmniejszenie grubości wytwarzanych warstw. Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy był większościowy.

W pracy [3] Habilitant wraz z współpracownikiem przedstawił wyniki badań nad warstwami powierzchniowymi W-Cr/Cr₃C₂. Podobnie jak w przypadku wcześniejszych badań, zastosowano zwiększanie ilości cząstek wzmacniających Cr₃C₂ od 25%, przez 50% aż do 75% do cząstek osnowy W-Cr. Ponadto, wytworzono warstwy powierzchniowej z samego węgliku chromu (100% Cr₃C₂). Jako podłoże zastosowano stal narzędziową 145Cr6. Przy wytwarzaniu warstw zastosowano trzy różne moce wiązki lasera. Wytworzone warstwy powierzchniowe posiadały siatkę węglkową, która była tym bardziej widoczna im większa była procentowa zawartość węgliku chromu w powłoce wstępnej. Wraz ze wzrostem ilości węglików siatka ta była także bardziej rozdrobniona, a finalnie osiągnęła kształt dendrytyczny. Wzrost gęstości mocy wiązki lasera zwiększał grubości wytwarzanych warstw powierzchniowych przy jednoczesnym zwiększeniu udziału materiału podłoża (żelaza) w warstwie. Pomiary mikrotwardości wykazały, że dodanie fazy wzmacniającej skutkowało zwiększeniem twardości warstw powierzchniowych. Wpływ gęstości mocy wiązki lasera na twardość uzależniony był od zawartości fazy Cr₃C₂: dla zawartości fazy Cr₃C₂ większej niż 50%, wzrost gęstości mocy wiązki nie miał wpływu na twardość warstwy wierzchniej. Badania odporności na zużycie przez tarcie wykazały, że wzrostowi zawartości fazy Cr₃C₂ towarzyszył spadek ubytku masy (zwiększenie odporności). Przeprowadzone badania korozyjne wykazały, że zwiększenie gęstości mocy wiązki lasera powodowało pogorszenie właściwości korozyjnych. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że przy wytwarzaniu kompozytowych warstw powierzchniowych wzmacnianych cząstkami powinny być stosowane mniejsze gęstości mocy wiązki lasera, które nie spowodują zbyt dużego przetopienia wprowadzonych cząstek wzmacniających. Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy był większościowy.

W pracy [4] przedstawiono badania warstw powierzchniowych Fe-B/(B₄C+Si) wytworzone na stali C45. Przy doborze takich warstw Habilitant, który miał znaczny wkład w koncepcję całej pracy, kierował się zmniejszeniem kosztów warstw powierzchniowych. Mieszanina Fe-B/(B₄C+Si) zawierała 75% wag. Fe-B i 25% wag. cząstek wzmacniających (20% B₄C i 5% Si). Zastosowano metodę napawania proszkowego (laser cladding) i dwie moce wiązki laserowej. Wytwarzane warstwy powierzchniowe posiadały duży udział podłoża stalowego. Habilitant stwierdził, że było to związane z zastosowaniem mieszaniny proszkowej złożonej z cząstek o nieregularnych kształtach i różnych rozmiarach. Celem wytworzenia warstw kompozytowych zmniejszono szybkość podawania proszku i zwiększono gęstość mocy wiązki. Średnia głębokość ścieżek laserowych zwiększyła się o około 200 μm. Warstwy charakteryzowały się brakiem pęknięć i porowatości, jednak nie osiągnięto struktury kompozytu wzmacnianego cząstkami B₄C. Analizując skład fazowy wytworzonych warstw stwierdzono obecność B₄C, fazy borku żelaza i faz zawierających krzem, np. Fe₂Si, SiB₆. Najniższe twardości uzyskano dla warstw bez cząstek wzmacniających, przy czym zwiększenie gęstości mocy wiązki lasera powodowało zmniejszenie twardości o ponad 100 HV_{0,1}. Dodanie cząstek B₄C+Si przyczyniło się do zwiększania wartości twardości warstw powierzchniowych. Badania wpływu gęstości mocy wiązki wykazały, że niższe wartości gęstości mocy wiązki

lasera przyczyniły się do uzyskania wyższych twardości. Zwiększenie prędkości skanowania spowodowało zmniejszenie grubości wytwarzanych warstw, oraz zwiększenia twardości o ok. 50 HV (dla szybkości 800 mm/min) i o ok. 100 HV (dla szybkości skanowania 1000 mm/min). Warstwy powierzchniowe Fe-B bez dodatku wzmocnienia (B_4C+Si) charakteryzowały się mniejszą odpornością na zużycie przez tarcie niż warstwy wzmacniane. Stwierdzono, że w przypadku tego typu warstw istnieje korelacja między mikrotwardością a odpornością na zużycie przez tarcie i parametrami wiązki lasera. Zwiększenie gęstości mocy wiązki lasera powodowało zmniejszenie mikrotwardości i pogorszenie odporności na zużycie. Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy był większościowy.

W kolejnym etapie badań Habilitant wytwarzał warstwy powierzchniowe w taki sposób, aby materiał podłoża stanowił podstawę dla warstw powierzchniowych wzmacnianych węglkami metali. Ze względu na dostępność do cząstek węgla wolframu (WC), Habilitant wytworzył warstwy powierzchniowe z ich wykorzystaniem przy użyciu metody proszkowego napawania laserowego. W pracy [5] przedstawiono wpływ gęstości mocy wiązki i szybkości podawania proszku na wytworzone warstwy powierzchniowe. Stwierdzono, że pęknięcia w wytworzonych warstwach występowały tylko dla mniejszej szybkości podawania proszku oraz niższych gęstości mocy wiązki lasera (37 kW/cm^2 i 43 kW/cm^2). Przy zwiększeniu gęstości mocy wiązki lasera do 49 kW/cm^2 , nie zaobserwowano pęknięć. W przypadku zastosowania większej szybkości podawania proszku ($12,5 \text{ g/min}$), pęknięcia w ogóle nie występowały. Grubość warstw wzrasta wraz ze zwiększaniem gęstości mocy wiązki lasera, bez względu na szybkość podawania proszku. Badania mikrostruktury wykazały obecność wtórnych wydzieleni WC. Wzrost gęstości mocy wiązki lasera powodował zwiększenie wymiarów wydzieleni WC. Badania odporności korozyjnej wykazały, że dodatek cząstek WC do stopu podatnego na korozję, zwiększa odporność korozyjną tego stopu, ponieważ podstawa zbudowana jest w przeważającej ilości z wtórnych wydzieleni węglkowych. Im więcej wprowadzano cząstek WC do warstwy powierzchniowej tym większą odporność korozyjną uzyskiwano. W oparciu o uzyskane wyniki Habilitant zaproponował własny model tworzenia warstw powierzchniowych, który wykorzystał w dalszych badaniach i publikacjach. Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy [5] był większościowy.

Praca [6] jest pracą autorską Habilitanta. W pracy tej przedstawił wyniki badań wytworzonych pojedynczych ścieżek laserowych warstw powierzchniowych wytwarzanych na stali narzędziowej 145Cr6 poprzez przetopienie pasty zawierającej 100% cząstek ZrC bez dodawania materiału osnowy. Ze względu na wysokie koszty proszku ZrC, zastosował metodę stopowania warstwy wstępnej nałożonej w postaci pasty. Stwierdził, że zwiększanie gęstości mocy wiązki lasera wpływa na zwiększenie szerokości i grubości ścieżek. Nie zaobserwował ani pęknięć ani porowatości na wytworzonych warstwach w postaci pojedynczych ścieżek. Chropowatość (parametr R_a) warstw powierzchniowych zmniejszała się wraz ze wzrostem gęstości mocy wiązki laserowej. Habilitant stwierdził, że stopowanie laserowe warstwy wstępnej ZrC umożliwia wytworzenie warstwy powierzchniowej o charakterze kompozytu wzmacnianego cząstkami węglków i szczegółowo scharakteryzował wpływ gęstości mocy lasera na strukturę (budowę) powstałych warstw. Pomiary twardości (mikrotwardości) przeprowadzone były z pominięciem twardych węglków celem zbadania wpływu parametrów wytwarzania na własności osnowy. Habilitant stwierdził, że zwiększanie gęstości mocy wiązki lasera zmniejszało twardości wytworzonych warstw powierzchniowych. Habilitant udowodnił, że istnieje możliwość wytworzenia warstw powierzchniowych z osnową na bazie materiału podłoża i fazą wzmacniającą zawierającą węgliki, w tym węgliki cyrkonu (ZrC). Zatem, nie ma

potrzeby wprowadzania dodatkowej osnowy, aby uzyskać warstwę kompozytu wzmacnianego cząstkami.

W pracy [7] Habilitant wraz z zespołem badawczym rozszerzył wytwarzanie warstw powierzchniowych Fe/ZrC o ścieżki wielokrotne, czyli pełnowymiarowe warstwy powierzchniowe. Zastosował trzy różne grubości warstw wstępnych (100 μm , 150 μm , 200 μm), a także trzy gęstości mocy wiązki lasera 64 kW/cm^2 , 89 kW/cm^2 oraz 115 kW/cm^2 . Na powierzchni żadnej z warstw nie zaobserwowano porowatości, natomiast na warstwach wykonanych z warstwy wstępnej o największej grubości stwierdzono występowanie pęknięć. Badania wpływu gęstości mocy wiązki wykazały, że najniższej gęstości mocy wiązki towarzyszyło występowanie pęknięć. Zwiększanie gęstości mocy wiązki lasera zmniejszało ilość pęknięć, a w przypadku warstw wytwarzanych przy udziale warstwy wstępnej o grubości 150 μm , pęknięcia całkowicie wyeliminowano. Ze wzrostem grubości warstwy wstępnej wzrasta również grubość wytwarzanych warstw powierzchniowych Fe/ZrC. Habilitant szczegółowo opisał mikrostrukturę wytwarzanych warstw uwzględniając wpływ grubości warstw wstępnych i gęstości mocy lasera, a także wpływ nakładania się ścieżek lasera. Badania mikrotwardości wykazały, że najlepszą twardością charakteryzowały się warstwy Fe/ZrC wytworzone z warstwy wstępnej o grubości 150 μm oraz najmniejszej gęstości mocy wiązki lasera (64 kW/cm^2). W przypadku warstw powierzchniowych wytwarzanych z grubszych warstw wstępnych, zauważono zmniejszanie się twardości w miarę zwiększania gęstości mocy wiązki lasera. Nie zaobserwowano wpływu gęstości mocy wiązki na twardość warstw wytworzonych z cienkich warstw wstępnych. Testy odporności na zużycie przez tarcie wykazały, że każda z warstw powierzchniowych Fe/ZrC poprawiała odporność na zużycie w porównaniu z podłożem stalowym. Najlepszą warstwą powierzchniową była warstwa Fe/ZrC powstała w wyniku przetopienia warstwy wstępnej o grubości 150 μm wiązką lasera o gęstości mocy 89 kW/cm^2 . Chociaż wstępnie wydawało się, że warstwy kompozytowe Fe/ZrC wytworzone z największej grubości warstwy wstępnej (200 μm) będą najbardziej odporne na zużycie, badania wykazały, że przy zastosowaniu wiązki laserowej o gęstości mocy 64 kW/cm^2 i 89 kW/cm^2 pojawiły się nierówności i pęknięcia na tych warstwach, co miało negatywne skutki podczas testów zużycia. Zwiększenie gęstości mocy spowodowało zmniejszenie nierówności powierzchni oraz wyeliminowanie pęknięć, co pozwoliło na poprawę odporności na zużycie przez tarcie. Zatem wykazano, że gęstość mocy wiązki laserowej zapewniająca odpowiednią strukturę, jakość (porowatość, przyczepność, pęknięcia) i odporność na zużycie warstw powierzchniowych zależy od grubości warstwy wstępnej. Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy był większościowy.

Podjęto ponadto próbę wytwarzania na jednofazowym stopie Monel®400 warstw powierzchniowych z węglikiem cyrkonu jako fazy wzmacniającej [8]. Uzyskane warstwy odznaczały się brakiem spękań i porowatości oraz miały charakter kompozytu wzmacnianego cząstkami ZrC. Niemniej, odporność na zużycie przez tarcie warstw powierzchniowych była znacznie gorsza niż stopu Monel®400. Uzyskano ponadto, że im większa gęstość mocy wiązki lasera tym gorsza odporność na zużycie przez tarcie. Praca powstała we współpracy międzynarodowej z prof. Jurči P z Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology STU in Trnava, Słowacja. Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy był większościowy.

Praca [9], podobnie jak [6] jest pracą autorską Habilitanta. W pracy tej Habilitant przedstawił wyniki badań wstępnych z wytwarzania pojedynczych ścieżek laserowych warstw powierzchniowych Fe/TaC na stali narzędziowej 145Cr6. Warstwa wstępna nałożona została w postaci pasty, zastosowane były trzy grubości warstw wstępnych oraz trzy gęstości mocy

wiązki lasera. Zwiększanie gęstości mocy wiązki lasera zwiększało szerokości ścieżek. Przy większych gęstościach mocy wiązki lasera grubość warstw wstępnych nie miała dużego wpływu na wymiary pojedynczych ścieżek. Przy zastosowaniu najmniejszej gęstości mocy wiązki lasera zaobserwowano wpływ grubości warstw wstępnych: im grubsza warstwa wstępna TaC, tym mniejszej grubości była warstwa powierzchniowa. Habilitant stwierdził, że przyczyną była zwiększona absorpcja energii cieplnej przez wysokotopliwe cząstki TaC. Ponadto, stwierdził, że korzystne jest stosowanie możliwie jak największych grubości warstw wstępnych. Wiąże się to bowiem z wprowadzeniem dużej ilości cząstek węglików do podłoża. Szczegółowo i wnikliwie przedstawił wpływ grubości warstw wstępnych i gęstości mocy na powstałe struktury warstw powierzchniowych Fe/TaC, które posiadały budowę kompozytową o osnowie żelaza wzbogaconego tantalum i fazą wzmacniającą z pierwotnych cząstek węglika tantalu TaC. Stwierdził istotny wpływ początkowej grubości warstwy wstępnej TaC na uzyskiwane wartości twardości: im grubsza warstwa wstępna, tym większa twardość otrzymanych warstw powierzchniowych. Zwiększanie gęstości mocy wiązki lasera zmniejsza twardość wytworzonych warstw Fe/TaC oraz zwiększa grubość tych warstw.

W pracy [10] przedstawiono wyniki badań nad warstwami powierzchniowymi Fe/TaC, wytwarzanymi jako ścieżki wielokrotne przy zastosowaniu różnych gęstościach mocy wiązki laserowej. Zwiększenie gęstości mocy wiązki laserowej skutkowało powstawaniem nieregularnych śladów niezależnie od grubości warstwy wstępnej. Ponadto, im grubsza warstwa podkładowa, tym większą nieregularność uzyskiwano. Stwierdzono, że charakter kompozytu wzmacnianego cząstkami Fe/TaC uzyskano dla najgrubszej warstwy wstępnej (90 μm) oraz dla najmniejszej gęstości mocy wiązki lasera (64 kW/cm^2). Badania składu chemicznego metodą EDS jak i składu fazowego metodą XRD wykazały, że przy gęstości mocy wiązki laserowej 64 kW/cm^2 występowały wyraźne piki pochodzące od węglików TaC i Ta₂C, oraz bogatej w tantal fazy TaFe₂ oraz zwiększenie gęstości mocy wiązki laserowej powodowało zmniejszenie intensywności występowania lub nawet całkowity zanik niektórych faz przy jednoczesnym wzroście intensywności występowania żelaza. Stwierdzono, że wzrost gęstości mocy wiązki lasera wpływa niekorzystnie na twardość warstw powierzchniowych. Jest to zgodne z wcześniejszymi badaniami prowadzonymi na innych warstwach. Największe wartości twardości uzyskano dla największej grubości warstwy wstępnej. Zatem zastosowanie małej gęstości mocy wiązki lasera i najgrubszej warstwy wstępnej pozwala na uzyskanie struktury kompozytu o wysokiej twardości. Badania odporności na zużycie przez tarcie wykazały, że warstwy powierzchniowe Fe/TaC zwiększają w znaczący sposób odporność podłoża na zużycie przez tarcie i największą odpornością na zużycie charakteryzowały się warstwy, które osiągały najwyższe wartości twardości. Zaobserwowano, że im mniejsza gęstość mocy wiązki lasera, tym większa jest odporność na zużycie, a aglomeraty w warstwie powierzchniowej kruszą się pod wpływem tarcia i odrywają dostając się pomiędzy parę trącą. Podczas badań najbardziej równomierny ślad powierzchni zużycia zaobserwowano dla warstw kompozytowych Fe/TaC wytworzonych przy najniższej gęstości mocy wiązki laserowej (64 kW/cm^2). Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy był większościowy.

Praca [11] jest wieloautorska, powstała we współpracy międzynarodowej. W pracy [11] podjęto próbę wytworzenia na stali narzędziowej 145Cr6 warstw powierzchniowych wzmacnianych węglikiem wanadu. Warstwy te wytwarzano przy 3 gęstościach mocy wiązki. Stwierdzono, że zastosowane parametry wytwarzania nie pozwoliły na wytworzenie warstw kompozytowych wzmacnianych cząstkami VC. Warstwy miały charakter kompozytu *in situ*, w którym twarde fazy wydzielały się jako siatka. Jako przyczynę wskazano zbyt małą wielkość ziaren proszku VC. Z tego względu nie nazywano ich warstwami Fe/VC, lecz warstwami żelazowo-

wanadowymi. Struktura warstw była jednorodna w całej ich objętości i charakteryzowała się występowaniem jasnej siatki węglkowej. Zanik tej siatki obserwowano przy zastosowaniu największej gęstości mocy wiązki lasera (140 kW/cm^2), a w zamian powstała struktura iglasta. W przypadku pojedynczych ścieżek laserowych uzyskana mikrotwardość była niezależna od gęstości mocy wiązki lasera. Wytworzenie ścieżek wielokrotnych, któremu towarzyszy większe mieszanie stopionego materiału podłoża z cząstkami VC, spowodowało istotne zmiany w twardości. Warstwy wytwarzane przy gęstości mocy wiązki lasera 64 kW/cm^2 posiadały największą twardość (ok. $1000 \text{ HV}_{0,05}$), natomiast zwiększanie gęstości mocy wiązki lasera powodowało zmniejszenie twardości do około $600 \text{ HV}_{0,05}$ dla gęstości mocy wiązki lasera 140 kW/cm^2 . Badania odporności na zużycie przez tarcie wykazały, że wzrostowi gęstości mocy towarzyszy spadek odporności na zużycie warstw powierzchniowych. Niemniej, każda z wytworzonych warstw powierzchniowych posiada lepszą odporność na zużycie niż podłoże stalowe. W przypadku gęstości mocy wiązki lasera 140 kW/cm^2 , ubytek masy warstwy powierzchniowej gwałtownie wzrasta po około 30 min tarcia. Było to związane z dużym przetopieniem i tym samym wzrostu udziału podłoża w warstwie powierzchniowej. Najlepsze wyniki odporności na zużycie uzyskano dla warstwy powierzchniowej wytwarzanej przy gęstości mocy wiązki lasera 64 kW/cm^2 . Zgodnie z Załącznikiem 4, udział Habilitanta w pracy był większościowy.

3.4. Ocena osiągnięcia naukowego

Prowadzone prace przez Habilitanta wskazują na logiczną ciągłość w planowaniu badań zmierzającą do opracowania warstw powierzchniowych kompozytowych o wysokiej odporności na zużycie przez tarcie metodą obróbki laserowej. Zakres prac realizowanych przez Habilitanta obejmował:

- opracowanie mieszanin proszkowych i warstw wstępnych,
- opracowanie metod wytwarzania warstw kompozytowych opartych o procesy obróbki laserowej,
- szereg badań materiałowych i eksploatacyjnych mających na celu weryfikację zastosowanych materiałów wzmacniających oraz metod i paramentów wytwarzania.

Przedstawione w osiągnięciu naukowym prace dotyczą w dużej mierze zastosowania cząstek węglików metali jako fazy wzmacniającej, które nie były stosowane do tej pory przez innych badaczy przy użyciu stopowania laserowego, co wskazuje na unikatowość i oryginalność prowadzonych prac. Badania wykazały, że niezależnie od zastosowanych proszków duże gęstości mocy wiązki lasera nie są korzystne dla warstw kompozytowych, tj. ich twardości i odporności na zużycie przez tarcie. Zależność ta odnosi się do wszystkich warstw wytwarzanych przez przetapianie laserowe warstwy wstępnej, stanowi jedno z osiągnięć naukowych i wkład w rozwój Inżynierii Mechanicznej. Przedstawiony autoreferat wraz załączonymi publikacjami wskazuje, iż wkładem w dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna oraz osiągnięciami naukowymi są:

- opracowanie metody wytwarzania kompozytowych warstw powierzchniowych zawierających węgliki wchodzące w skład cermetali tj. ZrC oraz TaC,
- określenie parametrów przetopienia laserem warstwy wstępnej w postaci pasty, które umożliwiają wytworzenie warstw powierzchniowych o charakterze kompozytu wzmacnianego cząstkami lub w formie kompozytu *in situ*,
- opracowanie warstw powierzchniowych wzmacnianych cząstkami węglików bez dodawania materiału osnowy - materiałem osnowy wiążącym węgliki staje się przetopiony materiał podłoża,

- określenie wpływu parametrów wiązki lasera dyskowego oraz diodowego na możliwości wytwarzania warstw kompozytowych wzmacnianych cząstkami oraz na ich podstawowe właściwości (twardość, odporność na zużycie przez tarcie) i mikrostrukturę,
- opracowanie niekomercyjnej osnowy W-Cr, która może znaleźć zastosowanie w wytwarzaniu kompozytowych warstw powierzchniowych wzmacnianych twardymi cząstkami.

Prezentowane dane są oryginalne w skali międzynarodowej.

4. Ocena pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

4.1. Osiągnięcia publikacyjne

Oprócz cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, Habilitant po uzyskaniu stopnia doktora opublikował 12 publikacji w czasopismach wydawnictwa **Elsevier**, tj.

- *Optics & Laser Technology*,
- *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*
- *Tribology International*,

1 publikację w czasopiśmie wydawnictwa **Springer**, tj.

- *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,

5 publikacji w czasopismach wydawnictwa **MDPI**, tj.

- *Materials*,
- *Coatings*
- *Metals*,

oraz w czasopiśmie **PAN**, tj. *Archives of Metallurgy and Materials*.

Czasopisma te są uznanymi i renomowanymi międzynarodowymi czasopismami o wysokim IF, w szczególności takie czasopisma jak *Tribology International* (aktualnie IF=6.2), *Optics & Laser Technology* (aktualnie IF=5), *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (aktualnie IF=3.6). Ponadto, po uzyskaniu stopnia doktora opublikował 3 prace w *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2018*, 1 pracę w *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 3 prace w *Inżynierii Materiałowej*, 2 prace w *MATEC Web of Conferences – 2017*, 2 prace w *Archives of Mechanical Technology and Materials*, i 2 prace w *Key Engineering Materials*. Habilitant odznaczał się wysoką aktywnością publikacyjną również przed uzyskaniem stopnia doktora – opublikował 17 prac w takich czasopismach jak: *Inżynieria Materiałowa*, *Archives of Mechanical Technology and Automation*, oraz w *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*.

Habilitant opublikował również 7 rozdziałów w monografiach, w tym 5 po uzyskaniu stopnia doktora. Wspomniane monografie to monografie pokonferencyjne wydane po następujących konferencjach: *9th International Conference Technological Forum 2018*, *29th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2020*, oraz w monografii *Środowisko i przemysł*, T 3, 5, 6 i 7.

Podsumowując, aktywność publikacyjna Habilitanta jest bardzo wysoka, a prace są publikowane w renomowanych krajowych i międzynarodowych czasopismach.

4.2. Wskaźniki naukometryczne

Zgodnie z przyjętymi zasadami, baza Web of Science (WoS) stanowi podstawę dla wskaźników naukometrycznych, tj. Indeksu Hirsha i liczby cytowań. Habilitant podał również wskaźniki te z bazy Scopus. Na dzień 31.08.2023 Indeks Hirsha wyniósł 10 (obie bazy), a liczba cytowań wyniosła 405 (WoS) / 490 (Scopus) – dane podane w Załączniku 4. Na dzień 18.01.2024 dane z bazy WoS wynosiły: Indeks Hirsha = 10, liczba cytowań wyniosła 435, a liczba cytowań bez autocytowań wyniosła 348. Widoczny jest przyrost liczby cytowań, a stosunek liczby cytowań bez autocytowań do wszystkich cytowań wskazuje na duże zainteresowanie badaniami i opublikowanymi wynikami przez międzynarodową społeczność naukową. Zatem, Habilitant spełnia zwyczajowo przyjęte wymagania dotyczące wspomnianych wskaźników naukometrycznych.

5. Ocena aktywności naukowej poza jednostką podstawową, w szczególności w jednostkach zagranicznych

Habilitant brał udział w dwóch stażach naukowych w Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology STU in Trnava, Słowacja. Jeden staż był 3-miesięczny, a drugi 1-miesięczny. Ponadto, odbył 6-miesięczny staż naukowo-przemysłowy w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznański Instytut Technologiczny. Staże te spełniają wymóg formalny aktywności naukowej w więcej niż jednej uczelni, w szczególności zagranicznej (art. 219 ust. 1 pkt 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”).

Ponadto, Habilitant współpracował z Technical University of Kosice, Faculty of Manufacturing Technologies, Presov (Słowacja), VŠB Technical University of Ostrava, Department of Working and Assembly (Czechy), oraz z Czech Technical University in Prague, Department of Materials Engineering, oraz z Faculty of Mechanical Engineering (Czechy).

6. Inne formy aktywności naukowej

Habilitant brał udział w 12 konferencjach, na których prezentował swoje prace. Były to takie konferencje jak:

- Sympozjum KOMPOZYTY -Teoria i praktyka,
- Międzynarodowa Konferencja Naukowa Krzepnięcie i Krystalizacja Metali,
- International Conference on Metallurgy and Materials,
- International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering
- Modern Technologies in Manufacturing
- The Joint International Conference on Trefftz Method VIII and Method of Fundamental Solutions IV
- Materiały konstrukcyjne i warstwy ochronne maszyn rolniczych
- International Symposium of Croatian Metallurgical Society Materials and Metallurgy
- Ogólnopolska Konferencja Naukowa Nowoczesne Technologie w Inżynierii Powierzchni

Habilitant współpracował z Przemysłowym Instytutem Maszyn Rolniczych w Poznaniu – Sieć Badawcza Łukasiewicz (obecnie: Poznański Instytut Technologiczny) oraz z Politechniką Wrocławską, Wydziałem Mechanicznym, Katedrą Technologii Laserowych, Automatyzacji i Organizacji Produkcji. Tematyką współpracy z Poznańskim Instytutem Technologicznym była

trwałość narzędzi rolniczych pracujących w glebie, natomiast z Politechniką Wrocławską - badanie właściwości materiałów metalowych wytwarzanych w technologiach addytywnych - druk 3D. Inne krajowe jednostki naukowe, z którymi współpraca zaowocowała opublikowaniem artykułów naukowych to Instytut Metalurgii Żelaza w Gliwicach - Sieć Badawcza Łukasiewicz (Górnośląski Instytut Technologiczny) - 2 artykuły naukowe, oraz Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych - 1 artykuł naukowy.

7. Inne osiągnięcia (organizacyjne, dydaktyczne)

Habilitant, jako pracownik naukowo-dydaktyczny, prowadził zajęcia na Wydziale Inżynierii Mechanicznej oraz na Wydziale Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Zajęcia te były głównie z zakresu technologii obróbki plastycznej metali. Ponadto, prowadził zajęcia dydaktyczne w jednostkach zagranicznych: Slovak University of Technology in Bratislava, Technical University of Ostrava, Technical University of Cluj-Napoca, University of Žilina, University of Osijek, University of Novi Sad, University of Miskolc, College of Nyíregyháza oraz Technical University of Kosice. Zajęcia te realizowane były w ramach dwóch programów wymiany akademickiej: CEEPUS (Central European Exchange Program for University Studies) oraz Erasmus Plus Staff Mobility of Teaching. Zajęcia i/lub seminaria dotyczyły zagadnień związanych z prowadzonymi przez Habilitanta badaniami naukowymi, tj. wytwarzaniem kompozytowych warstw powierzchniowych na stalach, oraz z obróbką plastyczną metali i z kierunkami rozwoju tej technologii. Łącznie Habilitant odbył 18 wyjazdów związanych z mobilnością dydaktyczną w jednostkach zagranicznych. Czas trwania pojedynczego wyjazdu wynosił od 4 dni do miesiąca (27 dni).

Habilitant był promotorem 20 prac dyplomowych inżynierskich oraz 10 prac dyplomowych magisterskich. Ponadto, był recenzentem 26 prac dyplomowych. Jest koordynatorem programu Erasmus Plus na Wydziale Inżynierii Mechanicznej, wielokrotnym członkiem komisji rekrutacyjnych i kwalifikacyjnych na studia II stopnia, komisji rekrutacyjnej cudzoziemców, zespołu przygotowującego sprawozdania z działalności Wydziału oraz członkiem zespołu przygotowującego raport samooceny na cele wizytacji zespołu oceniającego Polskiej Komisji Akredytacyjnej (PKA). W ostatnim zespole był odpowiedzialny za przygotowanie części związanej z wymianą międzynarodową studentów i pracowników wydziału. Habilitant stara się popularyzować naukę przez prowadzenie badań i przygotowanie publikacji naukowych ze studentami również wygłaszał wykłady na zaproszenie University of Nyíregyháza (Węgry) podczas dwóch konferencji związanych z umiędzynarodowieniem.

Na szczególną uwagę zasługują uzyskane nagrody:

- Stypendium Ministra Edukacji i Nauki dla wybitnych młodych naukowców (edycja 17). Stypendium to przyznano mi dnia 29.06.2022 r.
- Indywidualna nagroda Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe w roku 2021.
- Stypendium z Narodowego Programu Stypendialnego Republiki Słowackiej (Národný Štipendijný Program Slovenskej Republiky) na odbycie stażu naukowego w Słowackim Uniwersytecie Technicznym w Bratysławie, na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Technologii w Trnawie. Stypendium było finansowane przez rząd Republiki Słowacji.
- III miejsce w sesji posterowej podczas VI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Nowoczesne Technologie w inżynierii Powierzchni”, która odbyła się w dniach 25-28.09.2016 w Spale.

8. Wniosek końcowy

Badania prowadzone przez dr inż. Dariusza Bartkowskiego są ważne, odpowiadają współczesnemu stanowi wiedzy. Są oryginalne poznawczo (metodyka badań, wyniki wytworzonych warstw powierzchniowych i ich analiza) i stanowią podstawę do przygotowania konkretnych rozwiązań w zastosowaniach na elementy narażone na zużycie przez tarcie, w tym narzędzia rolnicze. Ich wyniki stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Zgodnie z Art. 219. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:

- 1) posiada stopień doktora; - **warunek spełniony**
 - 2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:
 - b) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub
 - c) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, - **warunek spełniony** lub
 - d) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;
 - 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej – **warunek spełniony**.
2. Osiągnięcie, o którym mowa w ust. 1 pkt 2, może stanowić część pracy zbiorowej, jeżeli opracowanie wydzielonego zagadnienia jest indywidualnym wkładem osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego. – **osiągnięcie zostało dokładnie omówione w autoreferacie oraz wkład w poszczególnych osób w pracach (publikacjach) wieloautorskich został dokładnie sprecyzowany i wydzielony.**
3. Obowiązek publikacji nie dotyczy osiągnięć, których przedmiot jest objęty ochroną informacji niejawnych. - **nie dotyczy.**

Ponadto, Kandydat wyraźnie zwiększył dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora, spełnia zwyczajowo przyjęte wymagania dotyczące wskaźnika IF, liczby cytowań oraz indeksu Hirsza, współpracował z innymi jednostkami badawczymi, w tym z ośrodkami zagranicznymi, posiada doświadczenie we współpracy z otoczeniem gospodarczym, upowszechniał wyniki swych prac na konferencjach i seminariach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym. W podsumowaniu stwierdzam, że wskazany przez Habilitanta cykl publikacji (o którym mowa w art. 219, ust. 1 p.2b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku prawo o szkolnictwie wyższym i nauce) jest dziełem wnoszącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.