

Paweł Pawlus  
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza  
35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 12

Rzeszów, 05.10.2023

## **Recenzja w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego Panu dr inż. Munishowi Kumarowi Gupta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna**

Osiągnięciem naukowym będącym podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jest cykl powiązanych tematycznie 11 artykułów naukowych pt.: **"Tribological and Surface Morphological Characteristics of Additively Manufactured Titanium and Nickel Based Alloys"**.

Podstawą opracowania recenzji w postępowaniu habilitacyjnym są dostarczone dokumenty, w tym:

- Dane Kandydata,
- Kopia dokumentu potwierdzającego nadanie stopnia doktora wraz z nostryfikacją,
- Autoreferat wraz z załącznikami,
- Wykaz osiągnięć naukowych wraz z załącznikami,
- Cykl powiązanych tematycznie artykułów,
- Wygłoszone wykłady,
- Współpraca międzynarodowa,
- Elektroniczna kopia wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego wraz z załącznikami.

### **1. Podstawowe informacje o Kandydacie**

Dr inż. Munish Kumar Gupta uzyskał stopień magistra w dyscyplinie Inżynieria Produkcji w 2013 roku w Guru Nanak Dev Engineering College (Ludhiana, Indie). Praca magisterska miała tytuł: **"Experimental Investigations for Use of Abs Replicas in Investment Casting Applications"**. W 2018 roku uzyskał stopień naukowy doktora w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna w National Institute of Technology (Hamirpur, Indie). Tytuł pracy doktorskiej: **"Machining Behavior of High Strength Temperature Resistant Alloys under Minimum Quantity Lubrication Environment"**. Dyplom doktora został nostryfikowany w Polsce 13 sierpnia 2021 roku.

Od 8 stycznia 2018 r. do 31 sierpnia 2018 roku pracował w Ludhiana College of Engineering and Technology w Punjab (Indie) na stanowisku Assistant Professor.

Od 1 maja 2019 r. do 30 kwietnia 2021 roku pracował w School of Mechanical Engineering, Shandong University (Chiny) jako Post-Doctoral Research Fellow.

Od 25 maja 2020 r. do 24 maja 2021 roku, pracował w Department of Automated Mechanical Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, (Rosja) jako Senior-Researcher (praca na odległość).

Dwa razy od 1 stycznia 2020 r. do 31 stycznia 2020 roku oraz od 1 lipca 2020 r. do 31 lipca 2020 roku przebywał na miesięcznych stażach naukowych w Department of Mechanical and Mining Engineering, University of Jaén w Jaén (Hiszpania) na stanowisku profesora wizytującego.

Od 2021 roku do chwili obecnej pracuje w Chandigarh University (Indie) na stanowisku adiunkta oraz w Politechnice Opolskiej na stanowisku profesora uczelni.

P. Pawlus

## 2. Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym jest cykl 11 artykułów naukowych zatytułowanych tak, jak monografia. W autoreferacie na stronie piątej przedstawiono tłumaczenie tego tytułu. Natomiast na stronie trzeciej zamieszczono inny tytuł cyklu publikacji **„Ocena właściwości tribologicznych i skrawalności materiałów metalicznych dla różnych warunków chłodzenie/smarowania”**, który moim zdaniem trafniej odzwierciedla jego zawartość.

Do cyklu publikacji należy autorska monografia, wydana w roku 2022 przez Politechnikę Opolską oraz 10 artykułów współautorskich. Były one opublikowane w czasopismach: Tribology International (4 artykuły), Measurement (2 artykuły) oraz Archives of Civil and Mechanical Engineering, Mechanical Systems and Signal Processing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology i Archives of Computational Methods in Engineering. Czasopisma te są w większości renomowane o współczynnikach wpływu (Impact Factors IF) między 3.56 a 8.94 (w październiku 2022 roku). Są one również wysoko punktowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego; The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 100 punktów, Archives of Civil and Mechanical Engineering 140 punktów, pozostałe czasopisma są najwyżej punktowane (200 punktów). Kandydat w siedmiu przypadkach był pierwszym współautorem, zaś w ośmiu autorem korespondencyjnym. Kandydat miał znaczny wpływ w powstanie artykułów: był autorem prac, inicjatorem eksperymentów, opracował koncepcje badań, interpretował ich wyniki, był odpowiedzialny za różne zagadnienia publikacyjne.

Monografia: **„Tribological and Surface Morphological Characteristics of Additively Manufactured Titanium and Nickel Based Alloys”** składa się z sześciu rozdziałów, streszczenia, wykazu literatury, spisów rysunków i tablic. Zawiera 162 strony i 356 pozycji literatury z lat 1980-2021, jednak większość cytowanych artykułów została opublikowana w ciągu ostatnich 10 lat. Kandydat był współautorem 13 cytowanych prac. Pozycje literaturowe były zamieszczone zgodnie z kolejnością cytowania, w przypadku dużej liczby pozycji bibliograficznych bardziej korzystna byłaby kolejność alfabetyczna. Taka duża liczba pozycji literatury wynika z tego, że większa część publikacji (poza rozdziałem piątym) ma charakter przeglądowy.

Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do pracy i w części końcowej zawiera cel i zakres pracy.

W rozdziale drugim omówiono właściwości tribologiczne i strukturę geometryczną powierzchni wytwarzanych przyrostowo stopów tytanu metodą SLM (Selective Laser Melting). Przedstawiono analizę wpływu parametrów SLM na tribologię i technologiczną warstwę wierzchnią. Interesująca jest tabela 2.1, w której przedstawiono powiązania wyników badań eksperymentalnych z charakterystyką tribologiczną i stanem warstwy wierzchniej na podstawie 30 pozycji literaturowych. W dalszej części rozdziału drugiego przedstawiono możliwości poprawy właściwości tribologicznych i stanu warstwy wierzchniej przez obróbkę cieplną, termomechaniczną i powierzchniową. Podsumowaniem przeglądu literatury w tym zakresie są tabele 2.2 i 2.3. Końcowa część rozdziału drugiego jest poświęcona w głównej mierze wpływowi nakładania powłok na właściwości tribologiczne skojarzeń trących. Moim zdaniem, podrozdziały 2.2 i 2.3 powinny zostać połączone. Rozdział drugi zawiera 20 rysunków, otrzymanych głównie na podstawie analizy literatury.

W rozdziale trzecim o układzie podobnym do rozdziału drugiego przeanalizowano właściwości tribologiczne i struktury geometryczne powierzchni wytwarzanych przyrostowo stopów niklu (z IN 625 i IN 718) z wykorzystaniem metody SLM. Interesujące są tabele podsumowujące 3.1 i 3.2 dotyczące defektów i tabela 3.3 odnosząca się do obróbek termicznych stopów z IN 718. Rozdział trzeci zawiera 17 rysunków otrzymanych, podobnie jak w rozdziale drugim, przede wszystkim na podstawie analizowanych publikacji.

P. R.

W rozdziale czwartym przedstawiono możliwości poprawy właściwości tribologicznych i stanu warstwy wierzchniej części wytwarzanych przyrostowo przez zastosowanie obróbki skrawaniem. Istotną rolę odgrywają warunki obróbki, materiały narzędzi i ich pokrycia. Rozdział ten jest krótki (8 stron) i zawiera tylko 5 rysunków.

W rozdziale piątym przedstawiono rolę metody MQL (Minimum Quantity Lubrication) w poprawie właściwości obróbkowych i tribologicznych stopu Inconel wytwarzanego przyrostowo. Początkowa część rozdziału oparta jest na analizie literatury. Jednak główna część rozdziału dotyczy badań własnych Autora. Stwierdzono, że stosowanie metody MQL wpływa na zmniejszenie zużycia narzędzia, zmniejszenie wysokości nierówności powierzchni części obrabianych i zwiększenie naprężeń ściskających w porównaniu z obróbką na sucho. Rozdział ten zawiera 10 w większości oryginalnych rysunków.

W rozdziale szóstym przedstawiono wnioski oraz kierunki dalszych badań.

Ponieważ skupiono się na właściwościach tribologicznych części wytwarzanych przyrostowo wprowadzenie powinno zawierać podstawowe informacje na temat tribologii. Tytuł monografii sugeruje, że będzie dotyczyć również morfologii powierzchni. Jednakże problemom metrologii powierzchni nie poświęcono istotnej uwagi. Dlatego tytuł powinien zostać zmieniony. Analiza dotyczyła jedynie wysokości nierówności powierzchni. Wiadomo jednak, że właściwości tribologiczne skojarzeń trących nie zależą jedynie od amplitudy nierówności. Podstawowe informacje na temat struktury geometrycznej powierzchni zostały zamieszczone dopiero na stronie 96 i dotyczyły parametrów wysokościowych profili chropowatości powierzchni Rt, Rp, Rz i Ra. Stereometrię powierzchni nazywano morfologią, topografią (na przykład na stronie 48) lub profilem powierzchni 3D (na stronie 90). Pomimo analizy wielu źródeł literaturowych, terminologia powinna być ujednolicona.

Ogólnie, oceniam monografię pozytywnie. Dotyczy istotnego problemu badawczego. Zawiera przegląd literatury dotyczący właściwości tribologicznych stopów na bazie tytanu i niklu wytwarzanych przyrostowo oraz wyniki badań własnych z zakresu poprawy obróbki skrawaniem przez stosowanie metody MQL. Monografia może być wykorzystana przede wszystkim przez początkujących badaczy zajmujących się wytwarzaniem przyrostowym. Wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Monografia została bardzo skrótowo zaprezentowana w Autoreferacie. Pozostałe osiągnięcia naukowe Kandydata zostały omówione szczegółowo. Ponieważ Autoreferat jest napisany w języku polskim, napisy na rysunkach powinny być przetłumaczone na język polski. Autoreferat zawiera niestety wiele błędów redakcyjnych.

Artykuł [A2] „**Tool Wear Patterns and Their Promoting Mechanisms in Hybrid Cooling Assisted Machining of Titanium Ti-3Al-2.5V/grade 9 Alloy**” zamieszczony w czasopiśmie Tribology International w 2022 roku dotyczy analizy procesu zużycia narzędzia podczas toczenia stopu tytanu przy różnych warunkach chłodzenia. Przeprowadzono pomiary zużycia ostrza skrawającego oraz analizę powierzchni zużytej za pomocą mikroskopii elektronowej. Stwierdzono, że nastąpiło zmniejszenie zużycia narzędzia wraz z wprowadzeniem środków chłodząco-smarujących do strefy skrawania. Interesująca jest tabela 1 w artykule, dotycząca pionierskich prac w dziedzinie hybrydowego smarowania/chłodzenia podczas obróbki wiórowej. Podpis pod rysunkiem 1 w Autoreferacie nie jest wystarczający.

Artykuł przeglądowy [A3] „**Tribological and Surface Morphological Characteristics of Titanium Alloys: A Review**” opublikowany w czasopiśmie Archives of Civil and Mechanical Engineering w roku 2002 dotyczy głównie charakterystyk tribologicznych stopów tytanu. Przedstawiono różne mechanizmy zużycia stopów tytanu oraz przeanalizowano wyniki pomiarów tarcia i zużycia otrzymane z wykorzystaniem różnych testerów tribologicznych. Pozytywnie oceniam zwłaszcza tabelę 3 przedstawiającą warunki badań tribologicznych różnych zespółów

P. N.

badawczych oraz tabelę 4 podsumowującą sposoby poprawy właściwości tribologicznych elementów ze stopu tytanu, na przykład przez teksturowanie powierzchni narzędzia. Praca, oparta na 119 pozycjach literatury może być przydatna dla naukowców zajmujących się stopami tytanu.

W pracy [A4] „**In-process Detection of Cutting Forces and Cutting Temperature Signals in Cryogenic Assisted Turning of Titanium Alloys: an Analytical Approach and Experimental Study**” opublikowanej w czasopiśmie Mechanical Systems and Signal Processing w 2022 roku modelowano proces toczenia na sucho i toczenia wspomaganego chłodzeniem elementów ze stopu tytanu Ti6Al4V z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Odchylenia pomiędzy modelowanymi wynikami siły i temperatury skrawania a wynikami badań eksperymentalnych nie przekroczyły 10%, co świadczy o tym, że opracowane modele są dokładne. Wyniki badań mogą być pomocne w branży obróbki skrawaniem.

Praca [A5] „**Cutting Forces and Temperature Measurements in Cryogenic Assisted Turning of AA2024-T351 Alloy: an Experimentally Validated Simulation Approach**” opublikowana w czasopiśmie Measurement w 2022 roku dotyczy podobnego problemu jak praca [A4] w odniesieniu do stopu aluminium. Modelowano toczenie z wykorzystaniem chłodzenia LN<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>. Do modelowania wykorzystano MES. Ponownie zaobserwowano niewielkie rozbieżności między wynikami modelowania i badań eksperymentalnych.

W pracy [A6] „**Measurement and Analysis of Machining Induced Tribological Characteristics in Dual Jet Minimum Quantity Lubrication Assisted Turning of Duplex Stainless Steel**” opublikowanej w czasopiśmie Measurement w 2022 roku analizowano zużycie narzędzia, chropowatość powierzchni, zużycie energii, mikrostrukturę, mikrotwardość obrabianych powierzchni i morfologię wiórów podczas obróbki MQL stali nierdzewnej. Zastosowano różne warianty podawania strumienia MQL: na powierzchnię natarcia, na powierzchnię przyłożenia oraz na obie powierzchnie. Najlepsze efekty zaobserwowano dla trzeciego wariantu; osiągnięto najmniejszą wysokość nierówności, najmniejsze zużycie energii, najmniejsze zużycie narzędzia, najkorzystniejszy kształt wiórów (krótkie). Stwierdzono również, że obrabiane przedmioty z zastosowaniem chłodzenia są bardziej miękkie, niż po obróbce na sucho, zaś podawanie strumienia MQL na obie powierzchnie zapewnia najmniejsze wartości mikrotwardości.

W pracy [A7] „**Hybrid Cooling-lubrication Strategies to Improve Surface Topography and Tool Wear in Sustainable Turning of Al. 7075-T6 Alloy**” opublikowanej w czasopiśmie The International Journal of Advanced Manufacturing Technology w 2019 roku analizowano wpływ różnych metod chłodzenia i smarowania na zużycie narzędzia i chropowatość powierzchni próbki ze stopu aluminium. Wszystkie metody chłodząco-smarujące wpływały na zmniejszenie wysokości nierówności powierzchni charakteryzowanej parametrem Ra i zużycie narzędzia. W pracy analizowano mechanizmy przewodzenia ciepła przy zastosowaniu różnych metod chłodzenia. Zarekomendowano stosowanie chłodzenia rurką wirową Ranque-Hilscha, która jest mniej kosztowna w porównaniu z innymi stosowanymi metodami smarowania i chłodzenia i działa z małym zużyciem energii. Dlatego może ono zastąpić inne metody chłodząco-smarujące. Może mieć potencjalnie zastosowanie do obróbki innych materiałów.

Teksturowanie powierzchni przez wykonywanie wgłębień służy do poprawy właściwości tribologicznych skojarzeń trących. Może mieć zastosowanie w procesach obróbki wiórowej. W artykule [A8] „**Tribological Behavior of Textured Tools in Sustainable Turning of Nickel Based Super Alloy**” opublikowanym w czasopiśmie Tribology International w 2021 roku przedstawiono wyniki badań uzyskane narzędziem teksturowanym laserowo. Badania przeprowadzono w różnych warunkach chłodzenia. Toczenie teksturowanym narzędziem zmniejszyło jego zużycie, zmniejszyło temperaturę skrawania i wysokość chropowatości oraz pozwoliło na uzyskanie największych mikrotwardości.

Badania tribologiczne podczas procesu obróbki wiórowej pozwalają na analizę tylko zużycia. W celu analizy oporów tarcia stosuje się testery tribologiczne. Takie badania przeprowadzono w pracy [A9] „**A Novel Use of Hybrid Cryo-MQL System in Improving the Tribological Characteristics of Additively Manufactured 316 Stainless Steel Against 100 Cr6 Alloy**” opublikowanej w czasopiśmie Tribology International w 2022 roku. W badaniach tarcza z

wytwarzanej przyrostowo stali nierdzewnej współpracowała z kulką ze stali 100Cr6 w warunkach ruchu posuwisto-zwrotnego. Zastosowano 3 rodzaje chłodzenia/smarowania. Najmniejsze wartości zużycia i oporów tarcia osiągnięto dla hybrydowego smarowania Cryo-MQL. Niestety, wartości zużycia estymowano w sposób odmienny od zalecanego w normie ASTM G133. Liczba powtórzeń wynosząca 2 wydaje się być zbyt mała. Pozytywnie oceniam analizę powierzchni zużytych z wykorzystaniem SEM.

Drugą pracą przeglądową jest [A10] **“A State of the Art on Simulation Modelling Methods in Machining: Future Prospects and Challenges”** opublikowana w Archives of Computational Methods in Engineering w 2022 roku. Dotyczy ona stosowania modeli symulacyjnych w podstawowych operacjach obróbkowych. Skupiono się na metodach modelowania wykorzystujących MES. Jednym z problemów symulacji procesów obróbki wiórowej z wykorzystaniem MES jest niewielka wiedza o modelach konstytutywnych materiałów. Ogólnie, symulacja powinna być stosowana przez ekspertów. Praca jest oparta na 138 pozycjach literaturowych. Pozytywnie oceniam zwłaszcza tabele przedstawiające wkłady poszczególnych badaczy.

Ostatnia praca [A11] **„Understanding the Lubrication Regime Phenomenon and its Influence on Tribological Characteristics of Additively Manufactured 316 Steel under Novel Lubrication Environment”** opublikowana w czasopiśmie Tribology International w 2022 roku dotyczy badań tarcia i zużycia w ruchu posuwisto-zwrotnym. Jest to kontynuacja pracy [A9] i powinna być zaprezentowana w autoreferacie po tej pracy. Przedmiotem badań jest wpływ rodzaju smarowania/chłodzenia na rodzaj tarcia w ruchu posuwisto-zwrotnym. Wpływ ten oszacowano stosując wzory przybliżone, chociaż pewniejsze wyniki można otrzymać bazując tylko na wynikach eksperymentu. Ponownie najlepsze wyniki otrzymano dla hybrydowego smarowania Cryo-MQL, które mogło doprowadzić do smarowania mieszanego, a nawet płynnego. Wyniki analiz są zależne od promienia krzywizny śladu zużycia, którego niepewności pomiaru nie przeanalizowano. Liczba powtórzeń, wynosząca ponownie dwa wydaje się być zbyt mała. Artykuł zawiera błędy redakcyjne, na przykład na rysunku 1 trudno znaleźć różnicę między smarowaniem płynnym a mieszanym. Nie wszystkie zmienne w równaniu (1) są wyjaśnione, parametr  $S_q$  nie jest chropowatością powierzchni, krzywa Stribeck pokazana na rysunku czwartym nie ma opisu osi odciętych. Błędy redakcyjne występują również w Autoreferacie.

Dziesięć artykułów oceniam pozytywnie. Dwa z nich [A3, A10] są bardzo dobrymi publikacjami przeglądowymi, zawierających tabele podsumowujące osiągnięcia badaczy. Pozostałe artykuły są skoncentrowane na aspektach tribologicznych obróbki wiórowej z wykorzystaniem różnych wariantów smarowania/chłodzenia. Publikacje [A9, A11] dotyczą stali wytwarzanej przyrostowo, są więc powiązane z monografią [A1]. Interesujący jest artykuł [A8] dotyczący zastosowania teksturowanego narzędzia. Artykuły [A4, A5] dotyczą modelowania procesu obróbki z wykorzystaniem SEM.

Artykuły stanowiące jednotematyczny cykl publikacji opublikowane zostały w większości w bardzo dobrych czasopismach z listy MEN, co jednoznacznie przemawia za pozytywną oceną. W artykułach badawczych przegląd literatury dotyczy najnowszych światowych osiągnięć, dyskusja wyników odnosi się do osiągnięć innych badaczy. Kandydat interesuje się kierunkami badań na arenie międzynarodowej oraz zna osiągnięcia naukowe innych osób.

Uważam, że artykuły [A2-A11] opublikowane w renomowanych czasopismach wnoszą istotny wkład do dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Kandydat zaproponował kierunki przyszłych badań. Do nich należy między innymi wytwarzanie Meta-materiałów za pomocą wytwarzania przyrostowego, dokładne badania wpływu hybrydowych środków chłodzenia oraz analiza powierzchni przy użyciu wysokiej klasy urządzeń.

P. K.

### 3. Ocena działalności naukowej

Kandydat współpracował z naukowcami krajowymi i zagranicznymi. Pracował i pracuje obecnie na uniwersytetach w Indiach. Przez rok pracował na uniwersytetach w Chinach i Rosji (praca zdalna). Przebywał na dwuletnich stażach naukowych na uniwersytecie w Hiszpanii.

W wyniku współpracy międzynarodowej powstało ponad 30 artykułów naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach, jak Precision Engineering i Journal of Cleaner Production.

W rezultacie pracy na uniwersytetach w Chinach i Rosji powstało 11 artykułów naukowych, opublikowanych w renomowanych czasopismach, jak Tribology International i Journal of Cleaner Production.

W 2021 roku zaakceptowano wnioski zgłoszone do NCN i NAWA. W wyniku powstało 5 artykułów, opublikowanych w Tribology International, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Mechanical Systems and Signal Processing i Measurement.

Kandydat współpracował z naukowcami z Polski, Rosji, Indii, Chin i Turcji. Artykuły obejmowały problemy związane z obróbką skrawaniem i wytwarzaniem przyrostowym.

Kandydat brał aktywny udział w sześciu międzynarodowych konferencjach naukowych. Opublikował ponad 200 prac indeksowanych w bazach WoS i SCOPUS, 11 rozdziałów książkowych i 2 monografie. Jego publikacje są cytowane, o czym świadczy indeks Hirscha wynoszący 46 na początku marca 2023 w bazie SCOPUS i liczba cytowań wynosząca ponad 7000. Odzwierciedla to jakość naukową publikacji. Świadczy to, iż artykuły spotkały się ze znacznym zainteresowaniem specjalistów z zakresu obróbki wiórowej, wytwarzania przyrostowego i tribologii.

Kandydat brał/bierze udział w pięciu projektach badawczych. Jest redaktorem i recenzentem czasopism naukowych.

Kandydat posiada również doświadczenie dydaktyczne. Prowadził zajęcia z przedmiotów: procesy produkcyjne, dynamika pojazdów, pomiary mechaniczne i metrologia, drgania mechaniczne, projektowanie i rozwój produktu, cięcie metali, teoria maszyn. Był promotorem kilku prac magisterskich.

### 4. Wniosek końcowy

Przedstawione osiągnięcie naukowe Pana dra inż. Munisha Kumara Gupta zawiera oryginalny, znaczący wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna, w szczególności w zakresie wytwarzania przyrostowego, obróbki wiórowej oraz tribologii.

Kandydat wykazał się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej.

Ma wybitny dorobek naukowy opublikowany w prestiżowych czasopismach międzynarodowych oraz szereg prezentacji swoich prac na konferencjach międzynarodowych. Jest uznanym ekspertem w swojej specjalności naukowej.

Przeprowadzona analiza dorobku naukowego oraz współpracy międzynarodowej Pana dra inż. Munisha Kumara Gupta daje mi podstawy do sformułowania wniosku stwierdzającego, że spełniają one warunki do uzyskania stopnia doktora habilitowanego nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Biorąc powyższe pod uwagę popieram wniosek o nadanie Kandydatowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Pzwał Pzwl,