

Dr hab. inż. Jerzy Robert Sobiecki prof. uczelni
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska

Warszawa 2023.02.10

RECENZJA

dorobku

dr inż. Artura Jacka Czupryńskiego w postępowaniu habilitacyjnym
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa

Recenzja została wykonana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Doskonałości Naukowej prof. dr hab. Grzegorza Węgrzyna z dnia 25.10.2022. W piśmie tym Pan Przewodniczący informuje że, Rada Doskonałości Naukowej powołała mnie do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr inż. Arturowi Jackowi Czupryńskiemu.

Ocena całokształtu dorobku Habilitanta dokonana została na podstawie dostarczonej dokumentacji zawierającej:

- Dane wnioskodawcy (zał. 1A).
- Kopię dyplomu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych (zał. 2).
- Autoreferat przedstawiający opis całego dorobku i osiągnięć naukowych (zał. 3A).
- Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja (zał. 4A).
- Kopie prac tworzących jednotematyczny cykl publikacji (zał. 5).
- Oświadczenia współautorów prac tworzących jednotematyczny cykl publikacji (zał. 6).
- Wykaz wszystkich opublikowanych prac naukowych zarejestrowanych w bazach bibliometrycznych Politechniki Śląskiej (zał. 7).

1. Ogólna charakterystyka Habilitanta

Dr inż. Artur Czupryński uzyskał tytuł magistra inżyniera broniąc pracę dyplomową w 1997r. pt. „Analiza techniczno-ekonomiczna spawania metodą MAG w wybranych mieszankach z

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 16.02.2023
RDJMa/RMT/19/53/2023
nr zał.

prędkościami posuwu drutu do 22m/min” zrealizowaną pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jana Pilarczyka.

W 2003 roku obronił z wyróżnieniem pracę doktorską pt. „Analiza procesów metalurgicznych zachodzących w czasie spawania metodą GMA w osłonach gazów aktywnych”, której promotorem był dr hab. inż. Andrzej Gruszczyk prof. PŚ.

W 1998 roku został zatrudniony na stanowisku asystenta na Wydziale Mechaniczno Technologicznym Politechniki Śląskiej, w roku 2003 tamże na stanowisku adiunkta, a od roku 2022 pracuje na stanowisku profesora uczelni.

2. Ocena dorobku naukowego

2.1. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 219 ust.1 pkt. 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego dr inż. Artur Czupryński przedstawił cykl 11 monotematycznych publikacji pod wspólnym tytułem „Innowacyjne powłoki napawane i natryskiwane cieplnie o podwyższonej odporności na ścieranie i erozję”.

Publikacje te zostały opublikowane w następujących czasopismach:

A1. Artur Czupryński

Comparison of Properties of Hardfaced Layers Made by a Metal-Core-Covered Tubular Electrode with a Special Chemical Composition.

Materials 2020, 13, 5445;

MNiSW: 140, IF2020: 3,623

A2. Jacek Górka, **Artur Czupryński**, Marcin Adamiak

Properties and structure of nanocrystalline layers obtained by manual metal arc welding (MMA).

Archives of Metallurgy and Materials 2017, 62, 3, 1479-1484.

MNiSW: 35, IF2017: 0,625

A3. Artur Czupryński

Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Metal Matrix Composite Coatings Deposited on Steel Grade AISI 4715 by Powder Plasma Transferred Arc Welding Part 1. Mechanical and Structural Properties of a Cobalt-Based Alloy Surface Layer

Reinforced with Particles of Titanium Carbide and Synthetic Metal–Diamond Composite.

Materials 2021, 14, 2382.

MNiSW: 140, IF2021: 3,748

A4. Artur Czapryński

Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Metal Matrix Composite Coatings Deposited on Steel Grade AISI 4715 by Powder Plasma Transferred Arc Welding Part 2. Mechanical and Structural Properties of a Nickel-Based Alloy Surface Layer Reinforced with Particles of Tungsten Carbide and Synthetic Metal–Diamond Composite.

Materials 2021, 14, 2805;

MNiSW: 140, IF2021: 3,748

A5. Artur Czapryński, Mirosława Pawlyta

Influence of Preheating Temperature on Structural and Mechanical Properties of a Laser-Welded MMC Cobalt Based Coating Reinforced by TiC and PCD Particles.

Materials 2022, 15, 1400;

MNiSW: 140, IF2021: 3,748

A6. Artur Czapryński, Tomasz Poloczek, Michał Urbańczyk

Characterization of a New High Abrasion and Erosion Resistance Iron-Based Alloy for PTA Hardfacing.

International Journal of Modern Manufacturing Technologies 2022, 14, 1, 45-54;

MNiSW: 70, IF2022: 0

A7. Michał Szymura, Artur Czapryński

The Effect of a Welding Technology on the Abrasive Wear Resistance of Joints in Abrasion-Resistant Plates.

Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach 2020, 64, 5, 38-44;

MNiSW: 40, IF202: 0

A8. Michał Urbańczyk, Janusz Adamiec, Jerzy Dworak, Sebastian Stano, Artur Czapryński

Structures of gradient layers obtained using the Laser Metal Deposition (LMD) method.

International Journal of Modern Manufacturing Technologies 2022, 14, 1, 112-123;

MNiSW: 70, IF2022: 0

A9. Artur Czapryński

Flame Spraying of Aluminum Coatings Reinforced with Particles of Carbonaceous Materials as an Alternative for Laser Cladding Technologies.

Materials 2019, 12, 3467;

MNiSW: 140, IF2019: 3,623

A10. Artur Czupryński

The properties of thermal sprayed aluminium coatings on non-alloy structural steel.

Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 2019, 95, 2, 64-73;

MNiSW: 70, IF2019: 0

A11. Artur Czupryński.

Properties of Al_2O_3/TiO_2 and ZrO_2/CaO Flame-Sprayed Coatings.

Materiali in Tehnologije 2017, 51, 2, 205-212;

MNiSW: 15, IF2017:0,590

Należy zwrócić uwagę na fakt, że 5 artykułów zostało opublikowanych w czasopiśmie MDPI „Materials” oraz na to, że cztery z nich nie posiada współczynnika wpływu IF, co niezbyt dobrze świadczy o osiągnięciu. Warto podkreślić, że wśród tych publikacji znajduje się sześć jednoautorskich, a w pozostałych wkład dr inż. Czupryńskiego kształtuje się od 15 do 70%. Procentowy udział wszystkich współautorów wraz ze wskazaniem podjętych czynności został potwierdzony pisemnie.

Powłoki kompozytowe o osnowie metalicznej (MMC - Metal Matrix Composite), które na ogół stanowią stopy na bazie żelaza, niklu lub kobaltu, wzmacniane cząstkami trudnotopliwych twardych faz, np. węglików metali przejściowych IVB-VIB grupy układu okresowego pierwiastków tj. cząstkami: TiC, WC, B_4C , Cr_3C_2 czy NbC, łączą ze sobą własności plastycznej, odpornej na ścieranie, erozję i korozję osnowy z cechami twardej ceramiki węglikowej. Powłoki tego rodzaju mogą być stosowane wszędzie tam, gdzie wymagana jest wysoka odporność na zużycie abrazyjne przy jednocześnie występujących obciążeniach dynamicznych (udarowych). W powłokach kompozytowych dodatek twardych cząstek węglikowych o różnym stopniu dyspersji powoduje dodatkowe umocnienie osnowy. Kompozyty o osnowie metalowej mogą przenosić większe naprężenia rozciągające i ściskające niż stopy monolityczne, ponieważ przyłożone obciążenie jest przenoszone z plastycznej osnowy do cząstek fazy umacniającej, co jest możliwe w przypadku istnienia właściwego wiązania pomiędzy poszczególnymi składnikami kompozytu.

Dlatego też główny cel naukowy jakim było zaprojektowanie składu chemicznego spoiw - proszków kompozytowych ceramiczno-metalicznych na osnowie stopów kobaltu, niklu i żelaza wraz z opracowaniem technologii napawania powłok o wysokiej wytrzymałości mechanicznej oraz zidentyfikowanie mechanizmów ich zużycia w warunkach tarcia ściernego typu metal-minerał i umiarkowanego cyklicznego obciążenia dynamicznego uważam za aktualny i nowatorski. Dr inż. Artur Czupryński dokonał ponadto oceny odporności erozyjnej kompozytowych powłok natryskiwanych cieplnie płomieniowo poddźwiękowo z proszku aluminium zawierającego dodatek nanorurek węglowych i karburetu, a także ceramiki tlenkowej $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ i $\text{ZrO}_2 - \text{CaO}$.

Przechodzę do omówienia poszczególnych publikacji w kolejności przedstawionej przez Autora wniosku, która notabene nie jest chronologiczna.

W publikacji A1 wykonano analizę porównawczą struktury i wyznaczono korelację liniową między twardością a odpornością na zużycie ściernie najpowszechniej stosowanych w przemyśle, komercyjnych prefabrykatów w postaci płyt trudnościeralnych napawanych łukowo spoiwami z grupy stopów T Fe15, T Fe16 (wg EN ISO 14700) i warstwy trudnościeralnej napawanej metodą 111 (MMA) elektrodą rurkową z rdzeniem proszkowym metalicznym własnej kompozycji chemicznej wytwarzającej stopiwo o strukturze żeliwa wysokochromowego ($\text{Cr}=20-24\%$).

Dr inż. Artur Czupryński stwierdził, że warstwy komercyjnie produkowane, napawane łukowo, na płytach kompozytowych z grupy T Fe16 charakteryzują się wyższą twardością i odpornością na zużycie ściernie w porównaniu do konwencjonalnych nakładek z węglika chromu z warstwami utwardzanymi z grupy T Fe15. Wyższa odporność na ścieranie wynika z rozproszenia bardziej jednorodnych, drobniejszych i twardszych wydzielen w matrycy. W grupie T Fe 15 bardziej plastyczna osnowa metalowa była poddawana bardziej intensywnemu zużyciu w wyniku interakcji ściernych z kruchymi węglnikami, powodując pękanie i rozrywanie węglików, promując dalej degradację matrycy. Rodzaj, rozmiar i rozproszenie faz wzmacniających mają znaczny wpływ na odporność na zużycie ściernie.

Badania metalograficzne i analiza rentgenowska wykazały, że warstwy napawane stopami z grupy T Fe15 mają mikrostruktury złożone głównie z pierwotnych węglików M_7C_3 równomiernie rozmieszczonych w osnowie typu Fe-Cr-C, z twardszymi węglnikami NbC. Mikrostruktura warstw napawanych stopami z grupy T Fe16 była bardziej złożona i składała się z ultratwardych złożonych borowęglików $\text{M}_{23}(\text{BC})_6$, i węglików metali MC, borków metali M_2B borków molibdenu Mo_2B , pierwotnych węglików chromu Cr_7C_3 , eutektycznych

węglików chromu Cr_{23}C_6 i węglików niobu Nb_6C_5 gęsto rozmieszczonych w matrycy martenzytycznej. W grupie powłok trudnościeralnych napawanych spoiwami T Fe15 zaobserwował korzystny wpływ dodatku boru w ilości do 0,4% na podwyższenie odporności na zużycie abrazyjne. Względna odporność na zużycie ściernie płyt trudnościeralnych napawanych spoiwami o składzie chemicznym Fe-C-Cr-Nb-B w porównaniu z płytami wytworzonymi spoiwami Fe-C-Cr-Nb wzrastała niemal dwukrotnie, przy średnim objętościowym ubytku masy powłoki wynoszącym około 15 mm^3 .

Uzyskane wyniki sugerują wysoką liniową zależność pomiędzy wzrostem twardości powierzchniowej i odpornością na ścieranie płytek ściernych.

W publikacji A2 dokonano oceny parametrów zużycia abrazyjnego i wyjaśniono mechanizm degradacji powierzchni powłok napawanych łukowo metodą 111 (MMA), spoiwem na osnowie żelaza wytwarzającym bezzużłowe stopiwo nanostrukturalne o wysokiej odporności na zużycie ściernie.

Autor skonkludował, że próbki napawane z układu Fe-Cr-Nb-B składają się z uporządkowanych krystalitów o wymiarach 20 nm, co pozwala zaklasyfikować je jako nanokrystaliczne. Zaobserwowano liczne węgliki o wzorze Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 i NbC.

Komputerowo wspomagana analiza termodynamiczna reakcji chemicznych i przemian fazowych podczas procesu spawania wykazała, że napoiiny zawierają trwałe borki chromu o wzorze Cr_3B_4 i Cr_5B_3 . Otrzymane warstwy nanokrystaliczne charakteryzują się bardzo dużą twardością rzędu do 70 HRC. Przekroje poprzeczne wykazały twardość 1000 HV1.

Wytworzone warstwy posiadają również doskonałą odporność na ścieranie, która jest 14 razy wyższa niż odporność typowej stal HARDOX 400 tj. stali o wysokiej odporności na ścieranie związanej ze zużyciem metali i minerałów.

Z kolei celem publikacji A3 było skomponowanie innowacyjnego składu chemicznego proszku – kompozytu ceramiczno-metalicznego o osnowie należącej do grupy stopów Co3 zawierającego supertwarde fazy w postaci cząstek ceramicznych z kruszonego ostro krawędziowego węgliku tytanu TiC i sferycznych cząstek z syntetycznego polikrystalicznego spieku diamentowego, przeznaczonego do napawania plazmowego proszkowego (PPTAW) lub laserowego proszkowego (LMD) i zbadanie mikrostruktury i właściwości tak wytworzonych powłok

Habilitant stwierdził, że skład chemiczny, rodzaj, ilość i wielkość cząstek twardych i metalicznych proszku kompozytowego na bazie stopu kobaltu umożliwiają jego doskonałe

topienie i zapewniają dobrą spawalność. Napawanie metodą spawania łukowego plazmą proszkową (PPTAW) (tj. z proszkiem kompozytowym podawanym bezpośrednio do jeziora stopu) sprzyja utrzymaniu stabilności strukturalnej i termicznej cząstek zbrojenia ceramicznego osnowy (mającej postać syntetycznego kompozytu metal-diamant pokrytego wolframem). Podczas krzepnięcia ciekłego metalu w jeziorze stopu niektóre cząstki zbrojenia (TiC) uległy kruchemu pękaniu. Proces pękania był prawdopodobnie wywołany koncentracją naprężeń rozciągających w defektach węglkowych. Warstwa kompozytowa charakteryzowała się dużą twardością, bardzo wysoką odpornością na zużycie ściernie, stosunkowo niską porowatością wewnętrzną i dobrą odpornością na umiarkowanie dynamiczne obciążenia uderowe. Właściwości mechaniczne i tribologiczne warstwy naniesionej metodą PPTAW wykonanej przy użyciu innowacyjnego proszku kompozytowego Co₃+TiC+PD-W wydają się obiecujące pod względem zastosowania jej na powierzchniach styku wkładek w narzędziach wiertniczych stosowanych w branży wydobywczej.

W pracy A4 Habilitant zaprojektował skład chemiczny proszku ceramiczno-metalicznego na osnowie stopu niklu Ni₃ z dodatkiem twardej fazy wzmacniającej w postaci dwóch różnych rodzajów węgliku wolframu WC-W₂C i syntetycznego diamentu polikrystalicznego, oraz opracował technologię napawania plazmowego proszkowego, zbadał mikrostrukturę, opisał mechanizm degradacji powierzchni powłok i wyznaczył parametry zużycia abrazyjnego wytworzonej na stali konstrukcyjnej niskostopowej, powłoki kompozytowej.

We wnioskach stwierdził, że otrzymana warstwa charakteryzowała się równomiernym rozłożeniem zbrojenia złożonego z pierwotnych węglków wolframu (WC W₂C) oraz cząstek syntetycznego spieku metalowo-diamentowego w złożonej matrycy γ -Ni roztwór stały i - Ni/Ni₃B faza eutektyczna. Zastosowana metoda sprzyja utrzymaniu strukturalnej i termicznej stabilności cząstek ceramicznych wzmacniających matrycę w postaci syntetycznego powlekanego wolframem kompozytu metalowo-diamentowego (PD-W). Częściowe stopienie powierzchni pierwotnego kulistego węgliku wolframu (WC) nie zwiększały istotnie siły dyfuzyjnego wiązania między twardą fazą a osnową. Podczas testu ścieralności sferyczne cząstki wzmocnienia węglkowego (WC) uległy złuszczeniu, prawdopodobnie z powodu niewystarczającego zwilżenia powierzchni cząstki metalem osnowy. Porowatość bezwzględna warstwy kompozytowej nieznacznie przekraczała 11%, natomiast jej gęstość właściwa wyniosła 9,34 g/cm³. Średnia twardość osnowy kompozytu wynosiła 691 HV_{0,5}, natomiast węgliki wolframu charakteryzowały się twardością około 2268 HV_{0,5}.

Względna odporność na zużycie ścierne osadzonej warstwy uzyskanej przy użyciu proszku $\text{Ni}_3\text{+WC-W}_2\text{C+PD-W}$ była ponad 11-krotnie wyższa niż stali odpornej na ścieranie AR400. Jest to wniosek powtórzony z publikacji A3.

Bardzo wysoka odporność warstwy kompozytowej na umiarkowane dynamiczne obciążenia uderowe wydaje się bardzo obiecująca, jeśli chodzi o jej zastosowanie jako ochrony prewencyjnej powierzchni roboczych narzędzi wiertniczych stosowanych w przemyśle wydobywczym. Znowu jest to wniosek powtórzony z publikacji A3.

W publikacji A5 dr inż. Artur Czupryński wyjaśnił wpływ temperatury podgrzewania wstępnego materiału podłoża na rozpad termiczny cząstek TiC i syntetycznego polikrystalicznego diamentu oraz pękanie i zużycie abrazyjne prototypowej powłoki kompozytowej napawanej laserowo proszkiem na osnowie stopu kobaltu na stali konstrukcyjnej niskostopowej.

Przeprowadzona analiza wyników badań pozwoliła stwierdzić, że podgrzewanie wstępne materiału podłoża znacząco zmniejsza podatność do pękania i porowatość stopiwa, redukuje naprężenia wewnętrzne w TiC przeciwdziałając pękaniu kruchemu cząstek i istotnie podnosi odporność powłoki napawanej na zużycie ścierne typu metal-minerał. Ubytek masy powłoki kompozytowej po teście abrazyjnym malał wraz ze wzrostem temperatury podgrzewania wstępnego materiału podłoża i gęstości stopiwa napoiny. Maksymalny ubytek masy powłoki kompozytowej wynoszący ponad 0,08 g odnotowano dla próbki wykonanej bez podgrzewania wstępnego materiału podłoża przed napawaniem, a najmniejszy równy 0,01 g dla powłoki napawanej z podgrzewaniem wstępnym materiału podłoża do temperatury 300°C. Wzrost ubytku masy wiąże się ze spadkiem gęstości powłoki kompozytowej, spowodowanej wzrostem jej porowatości wewnętrznej.

Nie bez znaczenia jest również wysoki stan naprężeń w powłoce, wywołany szybkim odprowadzaniem ciepła z niepodgrzanego podłoża, który powoduje pęknięcia na powierzchni napoin i sprzyja rozdrobnieniu cząstek TiC w wyniku ich pękania kruchego. Obserwacje morfologii obszarów zużycia abrazyjnego powłoki wskazały na abrazyjny mechanizm zużycia. Silnie osadzona i równomiernie rozmieszczona w osnowie stopu kobaltu faza twarda w postaci cząstek węgliku tytanu TiC i cząstek PD-W stanowiła naturalną i skuteczną barierę dla medium ściernego. Głównym mechanizmem zużycia powłoki napawanej było mikroskrawanie w formie ciągłych rys równoległych do osi napoin oraz w znacznie mniejszym stopniu bruzdowanie powierzchni. Przebieg rys miejscami był odchylony od kierunku prostoliniowego, co wskazuje na efektywność umacniania materiału podłoża i

potwierdza występowanie w strukturze faz twardych. Ziarna materiału mineralnego tworzyły na powierzchni powłoki kompozytowej rysy o wysokości profilu mieszczącym się w zakresie od 33 do około 240 μm . W obszarze wytarcia powierzchni stwierdzono obecność pojedynczych sferycznych kraterów, pozostałych po wytrąconych z osnowy pojedynczych cząstkach syntetycznego polikrystalicznego diamentu.

W przypadku trudnościeralnych powłok kompozytowych odporność na zużycie abrazyjne rośnie wraz ze wzrostem udziału objętościowego wzmocnienia ceramicznego. Wysoka odporność na ścieranie powłoki na osnowie stopu kobaltu była efektem rodzaju, wielkości i kształtu cząstek twardej fazy wzmacniającej osnowę oraz warunków testu określonych w normie. Autor wykazał, że proces napawania laserowego proszkowego z bezpośrednim podawaniem proszku do jeziora spawalniczego, w zakresie ustalonych parametrów technologicznych procesu, nie powoduje degradacji struktury i własności cząstek syntetycznego polikrystalicznego diamentu. Wolfram z powłoki ochronnej cząstki PD-W w nieznacznym stopniu wzbogaca osnowę kompozytu i nie podnosi istotnie twardości mierzonej na powierzchni zewnętrznej oraz przekroju poprzecznym powłoki napawanej.

W artykule A6 zawarto wyjaśnienie wpływu obróbki cieplnej na zużycie ściernie, erozyjne i pękanie pod wpływem obciążeń dynamicznych powłoki napawanej plazmowo, przedprodukcyjnym drutem proszkowym z rdzeniem metalicznym na osnowie stopu żelaza (C-Si-Cr-Mn-W-Mo-Nb-B-Fe) wytwarzającym bezzużłowe stopiwo o specjalnej nanostrukturze.

Skład chemiczny stopu (C-Si-Cr-Mn-W-Mo-Nb-B-Fe) umożliwiał osiągnięcie wysokiego przechłodzenia ciekłego metalu przed rozpoczęciem zarodkowania, co powodowało silne rozdrobnienie ziarna mikrostruktury, tworzenie się specyficznych faz międzymetalicznych oraz ich przesycenie pierwiastkami metali przejściowych.

Wykazano, że wysokotemperaturowy charakter procesu napawania PTAW sprzyja tworzeniu się submikro/nanoskalowej struktury napoiny, dla której wielkość krystalitów osnowy mieściła się w zakresie 25-40 nm. Na zglądach metalograficznych zaobserwowano specyficzny mechanizm krzepnięcia metalu, któremu towarzyszył eutektoidalny wzrost pakietów listew ferrytu bainitycznego prowadzący do rozdrobnienia wielkości ziarna w strukturze napoiny. Skutkowało to sukcesywnym wzbogacaniem cieczy w metale przejściowe i tworzeniem połączonych ze sobą obszarów faz borków metali o wielkości kilku mikrometrów. Struktura napoiny składała się z silnie zdefektowanych listew ferrytycznych ustawionych pod kątem 55-60°, we wnętrzu których następowało płytkowe wydzielanie

drobnych węglików. Węgliki wykazywały wobec siebie zbliżoną orientację krystalograficzną. Przemiana w stanie stałym spowodowała uformowanie się bardzo twardych węglików boru i borków metali równomiernie rozmieszczonych w osnowie. Badania wykazały w strukturze napoiny wysoką zawartość frakcji złożonych faz z węglików boru typu $M_7(BC)_3$ oraz $M_{23}(BC)_6$. Powłoka napawana po obróbce cieplnej nie wykazywała znaczących zmian morfologii, składu chemicznego i udziału fazy węglkowej. Twardość na powierzchni napoiny nieobrabianej cieplnie wynosiła średnio 68,6 HRC, a po obróbce cieplnej malała do 64,8 HRC. Potwierdzono, że badany stop nieobrabiany cieplnie wykazywał niemal 14-krotnie większą odporność na zużycie ścierne i o około 10% większą odporność na zużycie erozyjne niż materiał referencyjny (trudnościeralna stal typu AR 400). W wyniku obróbki cieplnej przeprowadzonej bezpośrednio po procesie napawania plastyczność metalu napoiny wzrosła, co przekładało się na podniesienie odporności na cykliczne obciążenia dynamiczne o energii do 200 J, ale też przyczyniło do zmniejszenia odporności powłoki na ścieranie i erozję.

Praca A7 dotyczy wyjaśnienia wpływu technologii wytwarzania i rodzaju spoiwa na intensywność zużycia abrazyjnego warstwy licowej spoin wykonanych spoiwem wysokochromowym w złączach doczołowych płyt trudnościeralnych spawanych metodami 111 (MMA) i 114 (FCAW-S).

Wykazano, że warstwy licowe spoin zabezpieczonych przed zużyciem zgodnie z zaprojektowaną technologią, charakteryzowały się wysoką odpornością na ścieranie niezależnie od zastosowanej metody spawania. Średni objętościowy ubytek masy warstwy licowej odpornej na ścieranie wykonanej elektrodami otulonymi Hardface HC-E i Hardface HC-TE wynosił odpowiednio 21,89 mm³ i 23,44 mm³, a drutem proszkowym samoosłonowym Hardface HC-O - 22,65 mm³. Uzyskane wartości objętościowego ubytku masy po próbie ścierania metal-minerał nie były niższe niż w przypadku napoin trudnościeralnych wytwarzanych produkcyjnie na płycie Hardplate 100S.

Analiza składu chemicznego, analiza składu fazowego i badania mikroskopowe wykazały, że we wszystkich wariantach połączeń płyty, struktura warstwy licowej odpornej na zużycie ścierne składała się z węglików Cr_7C_3 i $(Fe, Cr)_7C_3$ równomiernie rozmieszczonych w osnowie składającej się z austenitu i niewielkiej ilości ferrytu.

W publikacji A8 wykonano analizę porównawczą struktury i twardości gradientowych powłok kompozytowych napawanych laserowo metodą LMD proszkami z nadstopu niklu

Inconel 625 i stopu kobaltu Stellite 6, zawierającymi dodatek fazy ceramicznej w postaci cząstek sferycznego węgla wolframu WC.

Wykazano, że możliwe jest opracowanie technologii napawania laserowego metodą LMD umożliwiającą uzyskanie wielowarstwowych powłok z nadstopu Inconel 625 oraz stopu Stellite 6 z dodatkiem węgla wolframu. Makroskopowe badania metalograficzne wykazały, że trójwarstwowe powłoki na osnowie nadstopu Inconel 625 (o zawartości WC do 15% wag.) charakteryzowały się właściwą geometrią napoin i prawidłowym wtopieniem w materiał podłoża, zapewniając ciągłość zabezpieczenia przeciwzużyciowego. Mikrostruktura osnowy metalicznej z nadstopu Inconel 625 odznaczała się strukturą dendrytyczną typową dla procesów napawania. Dendryty struktury na osnowie niklu narastały na częściowo nadtopionych ziarnach materiału rodzimego, układając się prostopadle do kierunku odprowadzania ciepła. Obszary międzidendrytyczne zawierały fazy eutektyczne bogate w nikiel, chrom, żelazo, molibden i wolfram. Napawanie wielowarstwowe zapewniło, zawartość żelaza na powierzchni powłoki Inconel 625 na poziomie poniżej 1%, pomimo znacznego udziału materiału podłoża w pierwszej warstwie powłoki. Zawartość żelaza przy powierzchni powłoki przekraczająca 7% może powodować tworzenie tlenków żelaza Fe_2O_3 , charakteryzujących się warstwową i nieciągłą budową, co sprzyja ich wykruszaniu w czasie eksploatacji.

W przypadku powłok napawanych proszkiem kompozytowym na osnowie stopu Stellite 6 zawierającym 10% wag. węgla wolframu (WC), można było zaobserwować pojedyncze pęknięcie przechodzące przez całą grubość powłoki. Pęknięcie powstało w pierwszej warstwie (w wyniku naprężeń podczas krzepnięcia ciekłego metalu) i propagowało podczas osadzania kolejnych warstw.

Dwuwarstwowe powłoki wytworzone z proszku stopu Stellite 6 charakteryzowały się jednolitą strukturą na całym przekroju. Udział materiału podłoża w pierwszej warstwie był niski, co wpływało na zawartość żelaza w przy powierzchni powłoki, która nie przekraczała 4%. Liniowy rozkład zawartości poszczególnych pierwiastków chemicznych zarówno na powierzchni powłoki na osnowie nadstopu Inconel 625, jak i powłoki na osnowie stopu Stellite 6, potwierdziły dobre wymieszanie pierwiastków stopowych w stopiwie i tym samym wysoką jednorodność powłok. Pomiary rozkładu twardości wykazały, że twardość ostatniej warstwy zarówno powłoki na osnowie niklowej (Inconel 625), jak i osnowie kobaltowej (Stellite 6) mieściła się w zakresie od 600 HV1 do 470 HV1 i stopniowo zmniejszała się w kolejnych warstwach do wartości 250 HV1.

W artykule A9 dr inż. Artur Czupryński wyjaśnił wpływ dodatku wielościennych nanorurek węglowych i karburetu do proszku aluminium na strukturę, skład chemiczny, twardość, a także odporność na zużycie ścierne i erozyjne powłok natryskiwanych płomieniowo poddźwiękowo

Badania wykazały, że w zakresie ustalonych optymalnych parametrów procesu jest możliwe wykonanie powłok o akceptowalnym poziomie jakości, charakteryzujących się właściwym przyleganiem materiału powłokowego do podłoża, brakiem rozwarstwień oraz równomierną grubością powłoki na całej powierzchni. Powierzchnia zewnętrzna wykonanych powłok odznaczała się nieznaczną chropowatością, brakiem porowatości i pęknięć.

Wykazano, że podczas procesu natryskiwania płomieniowego proszkowego materiały węglowe dodawane do proszku aluminium nie ulegały całkowitemu utlenieniu w płomieniu acetylenowo-tlenowym. Nanorurki węglowe (temperatura topnienia – 4526°C) i karburek (temperatura topnienia – 3550°C) w neutralnym płomieniu gazowym tworzyły z aluminium aglomeraty typu Al-C_x, które ze względu na dużą objętość i niższą niż w przypadku innych metod natryskiwania cieplnego temperaturę źródła ciepła (temperatura płomienia acetylenowo-tlenowego 3160°C) w dużej ilości przechodziły do powłoki. Częściowo stopione i częściowo tylko uplastycznione w płomieniu gazowym aglomeraty Al-C_x zderzały się z podłożem z dużą prędkością i w ten sposób tworzyły rozdrobnioną strukturę powłoki. Natryskiwanie płomieniowe proszkowe PFS (Powder Flame Spray) w porównaniu na przykład z natryskiwaniem plazmowym APS (Atmospheric Plasma Spray) zwiększa prawdopodobieństwo zatrzymania karburetu i nanorurek węglowych w powłoce natryskiwanej kompozytu o osnowie aluminiowej. Obecność materiałów węglowych w aluminiowych powłokach natryskiwanych płomieniowo proszkowo potwierdzono badaniami metalograficznymi mikroskopowymi, które na zglądach metalograficznych ujawniły obszary występowania karburetu i nanorurek węglowych. Wyniki te zostały też potwierdzone zastosowaniem bardziej zaawansowanej metody badawczej, jaką jest spektroskopia Ramana. W omawianym osiągnięciu wykazano, że dodatek nanorurek węglowych do proszku aluminium w ilości 1% wag. powoduje zwiększenie twardości powłoki mierzonej na przekroju poprzecznym średnio o około 10 HV 0,1. Stwierdzono też, że powłoki aluminiowe zawierające nawet niewielką ilość cząstek nanorurek węglowych lub karburetu w porównaniu z powłoką aluminiową nie zawierającą dodatków wykazują, zarówno dla dużych jak i małych kątów padania erodentu, mniejszą odporność na zużycie erozyjne oceniane zgodnie z normą ASTM G76-13. Potwierdzono także korzystny wpływ dodatku materiałów węglowych na podniesienie odporności na zużycie ścierne aluminiowych powłok natryskiwanych

plamieniowo proszkowo ocenianych w teście wykonanym zgodnie z wytycznymi normy ASTM G65-04, Procedura E. Powłoki na osnowie aluminium wzmacnianego cząstkami w postaci wielościennych nanorurek węglowych oraz karburetu w ilości 0,5% wag. w porównaniu z powłoką aluminiową, wykazują odpowiednio 10 i 19% większą odporność na zużycie ściernie typu metal-minerał przy objętościowym ubytku masy wynoszącym analogicznie 0,13 g i 0,12 g.

W pracy A10 zawarto badanie struktury metalograficznej, ocenę odporności na zużycie erozyjne i przyczepność powłok natryskiwanych łukowo i plamieniowo proszkowo spoiwami z grupy stopów aluminium na podłożu stalowe z naniesioną wstępnie warstwą buforującą ze stopu aluminidku niklu.

Autor stwierdził, że natryskiwanie plamieniowe i łukowe aluminium (seria EN AW 1100) w zakresie wybranych parametrów pozwoliły na uzyskanie wysokiej jakości powłok aluminiowych o grubości około 1,0 mm na podłożu stalowym. Powłoka natryskiwana metodą łukową charakteryzuje się większą odpornością erozyjną (odporność określona przez ubytek masy) niż powłoka wytworzona przy użyciu natryskiwania plamieniowego. Zastosowanie bufora ze stopu niklu (95% Ni-5% Al) zwiększa przyczepność powłoki aluminiowej do podłoża ze stali konstrukcyjnej bezstopowej S355 JR. Badania metalograficzne powłok aluminiowych natryskiwanych termicznie wykazały adhezyjno-mechaniczny charakter połączenia między powłoką a podłożem. Zewnętrzne powłoki aluminiowe natryskiwane plamieniowo i łukowo miały twardość odpowiednio 37,4 HV_{0,3} i 44,9 HV_{0,03}. Średnia twardość warstwy buforowej wynosiła 140 HV_{0,03}.

W publikacji A11 wykonano analizę mikrostruktury, odporności na zużycie ściernie i erozyjne, a także wytrzymałości termicznej powłok natryskiwanych plamieniowo poddźwiękowo proszkami z ceramiki tlenkowej Al₂O₃ - TiO₂ oraz ZrO₂ - CaO

Autor wykazał, że dobrany skład chemiczny proszków w zakresie ustalonych parametrów natryskiwania plamieniowego powłok ceramicznych o grubości ok. 500 μm spełniał kryteria technologiczne i jakościowe. Struktura powłoki natryskiwanej proszkiem o składzie chemicznym 97% Al₂O₃+3% TiO₂ składała się głównie z tlenku glinu i niewielkiej ilości faz NiAl₁₀O₁₆ i NiAl₃₂O₄₉, podczas gdy powłoka wykonana z proszku 70% ZrO₂+30% CaO wykazywała strukturę faz tlenkowych cyrkonu z wapniem.

Habilitant stwierdził, że istotny wpływ na podniesienie przyczepności powłok ceramicznych do podłoża miała powłoka podkładowa wykonana na podłożu stalowym proszkiem z

aluminidku niklu (Ni-Al-Mo). Badania przyczepności powłok do podłoża wykazały adhezyjny mechanizm osadzenia obu powłok, przy czym naprężenie odrywające powłokę na osnowie tlenku glinu wynosiło 6,5 MPa, a na osnowie tlenku cyrkonu tylko 3,3 MPa. Badania potwierdziły również lepsze własności tribologiczne powłoki na osnowie Al_2O_3 . Wyższa twardość tej powłoki, wynosząca średnio około 780 HV, przekładała się na lepszą odporność na zużycie ścierne i erozyjne.

2.2 Ocena aktywności naukowej Habilitanta nie wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego

Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant opublikował jeszcze 3 monografie w języku polskim, 60 artykułów w czasopismach krajowych i międzynarodowych w tym tylko 8 w czasopismach z listy JCR. Jest współautorem 1 patentu i dwóch zgłoszeń patentowych. Po uzyskaniu stopnia doktora wyniki swoich badań naukowych prezentował na 53 konferencjach w tym na 12 międzynarodowych wygłaszając 28 referatów i przedstawiając 10 posterów. Niestety nie kierował projektami badawczymi pozyskiwanymi ze środków Ministerstwa, NCN czy też NCBiR. Brał udział jedynie jako wykonawca w 4 projektach krajowych i jednym międzynarodowym. Kierował jedynie projektami pozyskanymi w ramach konkursów Wydziału Mechaniczno Technologicznego Politechniki Śląskiej. Oceniając istotną aktywność naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej w szczególności zagranicznej należy stwierdzić, że jest ona dość uboga. Habilitant odbył 3 kilkudniowe staże w Czechach w Uniwersytecie w Ostrawie i Pilźnie w ramach programu ERASMUS +. W zakresie publikacyjnym i badawczym współpracował z naukowcami z innych instytucji badawczych i uczelni technicznych krajowych i zagranicznych oraz przedstawicielami przemysłu m.in. z Politechniki Gdańskiej z Instytutu Spawalnictwa, University of Salento, Włochy, Supmecca Paris Francja i firmami Castolin Sp. z o.o. i Welding Alloys Polska. Aktywnie uczestniczy w procesie recenzowania publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych. W latach 2019-2022 wykonał 59 recenzji publikacji dla czasopism międzynarodowych zarchiwizowanych na platformie Publons i 10 recenzji dla czasopism krajowych. W latach 2018-2022 sprawował funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim w dyscyplinie inżynieria materiałowa, pt. „Własności warstw napawanych łukowo z podawaniem grawitacyjnym węgla wolframu do jeziora napoiny” prowadzonym na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki

Śląskiej. Otrzymał Indywidualną i Zespołową Nagrodę III stopnia JM Rektora PŚ za osiągnięcia naukowe Ilość cytowań bez autocytowań 139 a indeks H 10.

2.3 Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Działalność dydaktyczną Habilitanta oceniam bardzo dobrze. Prowadził i prowadzi zajęcia na wszystkich kierunkach rodzajach i typach studiów na Wydziale Mechanicznym Technologicznym. W latach 2012-2016 był zaangażowany w prace nad dostosowaniem programów kształcenia do wymogów Krajowych Ram Kwalifikacji dla kierunków Mechanika i Budowa Maszyn, Automatyka i Robotyka oraz Inżynieria Materiałowa studiów stopnia I II. W 2017 roku opracował autorski podręcznik akademicki pt. „Podstawowe technologie spawalnicze w ćwiczeniach laboratoryjnych. Cz. 1”, W 2020 roku współautorsko opracował podręcznik akademicki pt. „Specjalne technologie spawalnicze w ćwiczeniach laboratoryjnych. Cz. 2”

W latach 2011-2016 był organizatorem i pierwszym opiekunem naukowym Studenckiego Koła Naukowego Spawalników. Jest pomysłodawcą ogólnopolskiego konkursu na najlepszą pracę magisterską z zakresu spawalnictwa „Diamenty PTS” organizowanego cyklicznie od 2018 r. przez Polskie Towarzystwo Spawalnicze. Był promotorem 98 prac dyplomowych magisterskich, 84 prac dyplomowych inżynierskich i projektów inżynierskich oraz 21 prac podyplomowych realizowanych w ramach dwusemestralnego studium podyplomowego „Technologia Spawania i Kontrola Jakości w Spawalnictwie” Prowadził zajęcia na studiach doktoranckich.

Działalność organizacyjną dr inż. Artura Czapryńskiego również oceniam bardzo dobrze. Jest pełnomocnikiem Dziekana ds. Pilotażu, w związku z uruchomieniem nowego systemu nauczania języków obcych. W latach 2014-2021 był przewodniczącym Wydziałowej Komisji ds. Komputerowego Systemu Rozkładu Zajęć Dydaktycznych.

Pełnił też funkcje członka Komisji ds. Wydziałowego Systemu Zapewnienia Jakości Kształcenia oraz członka Komisji ds. Planów i Programów Studiów na kierunkach Automatyka i Robotyka oraz Mechanika i Budowa Maszyn. Od 2012 roku jest aktywnym członkiem Polskiego Towarzystwa Spawalniczego, Oddziału Śląskiego we współpracy z którym organizuje wiele przedsięwzięć związanych z popularyzacją nauki wśród młodzieży i młodej kadry inżynierskiej. W swojej działalności angażował się w organizację krajowych konferencji naukowych, będąc organizatorem Sympozjum Katedr i Zakładów Spawalnictwa odbywającego się corocznie od 2012 roku, a także Warsztatów Młodych Spawalników

organizowanych w latach 2016-2017. Ogółem w latach 2003-2022 był członkiem komitetu organizacyjnego 14 krajowych konferencji naukowych. Za działalność organizacyjną w latach 2009-2019 został nagrodzony 10 Zespołowymi Nagrodami JM Rektora Politechniki Śląskiej I i III stopnia.

3. Podsumowanie i wniosek końcowy

W wyniku przeprowadzonej, szczegółowej oceny dorobku naukowego oraz aktywności zawodowej dr inż. Artura Czupryńskiego stwierdzam, co następuje:

- dorobek naukowy Habilitanta jest oryginalny, oraz został szeroko upowszechniony w obiegu międzynarodowym. Mieści się on w obszarze nauk inżyneryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa;
- dorobek naukowy Habilitanta został wyraźnie powiększony od czasu ostatniego awansu naukowego;
- przedstawiony do oceny zbiór publikacji spełnia kryteria osiągnięcia naukowego stanowiącego znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa zgodnie z wymaganiami art. 219 ust 1 pkt 2 lit b oraz ust. 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r.

Stwierdzam zatem, że dr inż. Artur Czupryński spełnia wszystkie wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżyneryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa w świetle Ustawy „Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce” z dnia 20 lipca 2018 r (Dz. U. z 2021 r. poz. 478).
Recenzowany wniosek popieram i oceniam pozytywnie.

Prof. Jerzy Robert Sobiecki

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)