



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Kraków, 2024-03-23

Prof. dr hab. inż. Tomasz Moskalewicz

RECENZJA

dorobku naukowego z uwzględnieniem osiągnięcia naukowego pt.: „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu*” oraz istotnej aktywności naukowej dr inż. Grzegorza Adamka przedstawionych do oceny w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa

1. Charakterystyka ogólna kariery naukowej Habilitanta

Pan dr inż. Grzegorz Adamek uzyskał tytuł magistra inżyniera na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej w roku 2009 na kierunku inżynieria materiałowa za pracę dyplomową pt. „*Warstwa porowata na stopach Ti-6Al-4V*”. W dniu 3 września 2012 roku uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa na podstawie rozprawy doktorskiej pt. „*Modyfikacja warstwy wierzchniej nanokrystalicznych stopów tytanu do zastosowań na implanty*” wykonanej na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Promotorem pracy dyplomowej magisterskiej i rozprawy doktorskiej był prof. dr hab. inż. Jarosław Jakubowicz.

Od 1 października 2010 do 28 lutego 2014 roku był zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Inżynierii Materiałowej na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Od 1 marca 2014 do 31 grudnia 2019 pracował na stanowisku adiunkta w tej samej jednostce. Następnie od 1 stycznia 2020 roku do chwili obecnej jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Inżynierii Materiałowej na Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej.

Zainteresowania naukowe Habilitanta przed uzyskaniem stopnia doktora obejmują modyfikację powierzchni biomateriałów tytanowych. W okresie tym był współautorem 9 publikacji naukowych w recenzowanych czasopismach, w tym 5 opublikowanych w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR) i jednego zgłoszenia patentowego dotyczącego sposobu wytwarzania materiałów porowatych. Po uzyskaniu stopnia doktora zajął się tematyką porowatości objętościowej w biomateriałach tytanowych. Inspiracją do podjęcia tematyki pianek metalicznych był udział w projekcie NCN OPUS 4 pod kierownictwem prof. Jarosława Jakubowicza, w którym Habilitant był głównym wykonawcą. Zdobyte w tym projekcie doświadczenia naukowe wykorzystał do zaproponowania nowego sposobu wytwarzania pianek metalicznych i rozwijał w projekcie NCN SONATA 8, którego był kierownikiem. Ponadto zajmował się także tematyką opracowania nanokrystalicznych stopów i kompozytów tantalum będąc wykonawcą w projekcie NCN OPUS 10.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym pt. „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalum*” przedstawionym przez dr inż. Grzegorza Adamka jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych w skład którego wchodzi 13 publikacji (oznaczonych w autoreferacie jako H1-H13). Prace zostały opublikowane w czasopismach z bazy JCR w latach 2013-2022. Wśród nich są prace opublikowane w czasopismach z zakresu inżynierii materiałowej o przyzwoitym współczynniku wpływu IF, takich jak *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (H3,H8,H9), *Materials Characterisation* (H6) i *Advanced Engineering Materials* (H7). Dwie prace (H8,H9) wchodzące do cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie habilitacyjne są jednoautorskie i 11 prac jest wieloautorskich. W siedmiu publikacjach Habilitant jest pierwszym autorem. W sześciu pracach jest autorem korespondencyjnym. Sumaryczny współczynnik wpływu prac wchodzących do cyklu publikacji będącego przedmiotem postępowania habilitacyjnego wynosi 32,318, zgodnie z rokiem opublikowania. Całkowita liczba punktów (ministerialnych) czasopism, w których opublikowano wyniki badań stanowiących osiągnięcie habilitacyjne wynosi 845, wg punktacji zgodnie z rokiem opublikowania. Publikacje te są cytowane, a łączna liczba ich cytowań wynosi 178 (bez autocytowań, wg Scopus, 9.02.2024).

Wkład Habilitanta w prace stanowiące cykl publikacji polegał na samodzielnym opracowaniu lub współpracowaniu ich koncepcji, wytwarzaniu materiałów, charakterystyce

mikrostruktury przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i rentgenowskiej analizy fazowej (XRD) oraz interpretacji wyników badań.

Tematyka badań realizowana przez Habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych skupia się ogólnie na piankach metalowych, ale można wyróżnić kilka kierunków realizowanych badań:

- pianki wytwarzane z użyciem sacharozy jako poroforu,
- pianki metaliczne wytwarzane w procesie termicznego odstopowania magnezu,
- modyfikacja powierzchni pianek poprzez obróbkę elektrochemiczną: trawienie i osadzanie srebra,
- opracowanie nowego stopu tytanu ze srebrem z formą piankową przygotowaną z użyciem mocznika.

W mojej opinii przyjęty podział tematyki badawczej jest przemyślany i spójny, a tematyka badawcza wpisuje się w nurty badawcze inżynierii materiałowej. Motywację do podjęcia badań nad piankami metalicznymi stanowiło dążenie do opracowania biokompatybilnych biomateriałów na implanty kostne o specyficznych właściwościach, takich jak mały moduł sprężystości wzdłużnej i duża porowatość otwarta skutkująca małą masą wyrobu i szybką osteointegracją z tkanką kostną. Należy zaznaczyć, że Habilitant brał aktywny udział w opracowaniu podstaw technologii wytwarzania ww. materiałów. Habilitant uzasadnił stosowanie materiałów o dużej porowatości, w tym stopów tytanu i tantalu, w inżynierii biomedycznej (rozdział 1 autoreferatu). Ponadto przedstawił możliwości ich wytwarzania wskazując na spiekanie z poroforem jako szeroko stosowaną i prostą metodę otrzymywania pianek metalicznych na bazie tytanu. Interesujący jest pomysł zastosowania sacharozy jako poroforu do wytwarzania pianek metalicznych. Inspiracją do jej zastosowania była współpraca Habilitanta i prof. Jakubowicza z prof. Montasserem Dewidarem z Egiptu. Tematykę taką rozwijał będąc wykonawcą w projekcie NCN OPUS 4. Wyniki badań dotyczące pianek tytanowych zostały przedstawione w pracach H1, H2, H6, H7 i H10, zaś pianek tantalowych w pracy H3. W publikacji H5 przedstawił wytwarzanie pianki kompozytowej Ti-bioszkło za pomocą metody *space holder*, wykorzystującej sacharozę. Ogólnie prace dotyczyły wytwarzania pianek oraz charakterystyki ich struktury, porowatości i właściwości mechanicznych i biologicznych. Wykazał dużą przydatność i potencjał sacharozy w wytwarzaniu pianek, a zwłaszcza jej wpływ na skład fazowy powierzchni pianki. Stwierdził tworzenie się tlenków (TiO_2) i węglików (TaC) podczas spiekania. Wpływ TiO_2 na biokompatybilność biomateriałów jest dobrze poznany. Interesujące byłoby zwłaszcza ustalenie wpływu TaC na odporność na korozję elektrochemiczną i właściwości biologiczne.

Ustalił, że zwiększenie porowatości wytwarzanych materiałów powoduje zmniejszenie modułu Younga, co ma duże znaczenie dla implantów kostnych ze względu na sztywność implantów. Z drugiej jednak strony charakterystyki mechaniczne takich pianek są mniejsze od właściwości mechanicznych materiałów litych.

Podczas realizacji projektu NCN SONATA 8 pt. „Zbadanie procesu wytwarzania i właściwości pianek metalowych na bazie nanokrystalicznych stopów tytanu beta w procesie odstopowania magnezu”, 2015-2018, którego był kierownikiem, zajmował się opracowaniem nowego sposobu wytwarzania i charakterystyką właściwości pianek ze stopów tytanu β z układu Ti-Mg-Ta-Nb-Zr otrzymywanych w procesie termicznego odstopowania magnezu. Postulował, m.in., że zastosowanie tego procesu, w którym spiekanie swobodne jest realizowane w próżni w temperaturze wyższej od temperatury wrzenia Mg (1090°C), umożliwi otrzymanie porów o mniejszych rozmiarach w porównaniu do tych uzyskanych w technologii *space holder*. W pracach H8 i H11 opisał pianki ze stopów Ta-20Ti, Ta-30Ti oraz Ti-30Ta. Oceniał wpływ zawartości Mg na porowatość spieków. Skład fazowy zbadał za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej, zaś mikrostrukturę przy użyciu SEM i TEM oraz rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej. Wykazał, że ponad 90% Mg odparowało po spiekaniu pozostawiając pory, a jego zawartość była mniejsza od 3% mas. Ze zwiększeniem zawartości Mg w stopie zwiększała się porowatość spieków. Ustalił, że metoda termicznego odstopowania Mg pozwala uzyskać materiał o szerokim zakresie wielkości porów od $0,1\ \mu\text{m}$ do $100\ \mu\text{m}$. Właściwości mechaniczne pianek wyznaczył podczas statycznej próby ściskania i prób nanoindentacji. Ponadto zbadano cytotoksyczność wytworzonych pianek.

W pracy H9 przedstawił wyniki badań nad otrzymywaniem materiałów piankowych kompozytowych tantal – bioszkło 45S5. Przede wszystkim stwierdził, że sposób wytwarzania porowatych spieków kompozytowych miał znaczący wpływ na skład fazowy pianek.

W pracy H12 opisał proces wytwarzania przy użyciu mechanicznej syntezy i termicznego odstopowania Mg i właściwości pianek ze stopu Ti-20Nb-5Zr. Podsumowując głównym osiągnięciem opisanym w pracach H8, H9, H11 i H12 jest opracowanie podstaw nowej technologii otrzymywania pianek na bazie tytanu i tantalu wykorzystującej termiczne odstopowanie Mg podczas spiekania w temperaturach wyższych od temperatury topnienia Mg. Wykazał, że w piankach otrzymywanych w tej technologii uzyskuje się dwa rodzaje porów, większe połączone ze sobą o kształcie wydłużonym i mniejsze, również w większości połączone ze sobą, o średniej średnicy około $1\ \mu\text{m}$. Stwierdził, że właściwości mechaniczne opracowanych pianek zależą przede wszystkim od udziału porowatości w wyrobie i charakterystyki porów.

Kolejnym tematem badawczym rozwijanym przez Habilitanta była modyfikacja powierzchni pianek poprzez elektrochemiczne trawienie w elektrolicie zawierającym kwas fluorowodorowy oraz elektrochemiczne osadzanie nanocząstek Ag w aspekcie poprawy właściwości biologicznych (H12, H4). Wykazał, że obróbka elektrochemiczna pianek powoduje tworzenie się porów powierzchniowych i tlenków, co skutkuje zwiększeniem rozwinięcia ich powierzchni oraz może przyczynić się do poprawy właściwości biologicznych. Osadzanie Ag wpływa na poprawę właściwości antybakteryjnych pianek metalicznych wobec szczepów bakterii Gram-dodatnich *S. aureus* i Gram-ujemnych *P. aeruginosa* oraz grzybów *C. albicans*.

Ostatnim tematem badawczym podjętym przez Habilitanta były pianki metaliczne wytwarzane z użyciem mocznika (rozdział 5 autoreferatu). Wyniki badań z tego zakresu przedstawił w pracy H13. Celem tej pracy było ustalenie wpływu zawartości Ta przy stałej zawartości Ag w stopach tytanu z układu Ti-Ta-Ag oraz parametrów wytwarzania (mechaniczna synteza, konsolidacja poprzez prasowanie na gorąco i spiekanie z poroforem) na ich mikrostrukturę, właściwości mechaniczne, odporność na korozję i zachowanie biologiczne. Wykazał, że prasowanie na gorąco jest korzystne dla wytwarzania stopów o dużej gęstości, zaś spiekanie swobodne z udziałem poroforu w postaci mocznika skutkuje wytworzeniem spieku o dużej porowatości. Ze względu na korzystne charakterystyki mechaniczne, dużą odporność na korozję elektrochemiczną i właściwości biologiczne opracowane materiały wykazują potencjał w zastosowaniu na implanty kostne wymagające osteointegracji i właściwości antybakteryjnych.

Po zapoznaniu się z autoreferatem Habilitanta nasuwają się także uwagi krytyczne, które dotyczą zwłaszcza właściwości materiałów. Porównuje on właściwości mechaniczne wytworzonych pianek, takie jak granica plastyczności, twardość, z właściwościami „czystego” tytanu. Norma ASTM wyróżnia 4 gatunki tytanu technicznego Grade 1 - Grade 4, różniące się znacznie właściwościami mechanicznymi. *Który z nich Habilitant miał na myśli?*

Porowatość (udział objętościowy, rozmiar porów, rozmieszczenie, kształt) ma istotny wpływ na właściwości biologiczne biomateriału. Brakuje systematycznych badań w tym kierunku.

Habilitant często stosuje ogólne pojęcia utrudniające ocenę opracowanych materiałów, np. „właściwości były na dobrym poziomie”. *To znaczy jakie, do jakich zastosowań, na jakie konkretnie implanty?*

Autor nie ustrzegł się błędów edytorskich i językowych. W autoreferacie stosowana jest często niepoprawna terminologia, np. widma XRD zamiast dyfraktogramy rentgenowskie

i oznaczenia stopów tytanu, np. Ti₂₀Nb₅Zr zamiast Ti-20Nb-5Zr. Przedstawione powyżej uwagi krytyczne o charakterze dyskusyjnym i uwagi edytorskie nie zmieniają mojej wysokiej pozytywnej oceny osiągnięcia naukowego. Należy je rozpatrywać raczej jako inspiracje i wskazówki do dalszej pracy naukowo-badawczej.

Podsumowując, w mojej ocenie, pomimo uwag krytycznych, przedstawiony cykl 13 powiązanych tematycznie publikacji naukowych jest wartościowy. Wśród nich 2 publikacje są jednoautorskie, a 11 jest wieloautorskich, ale z załączonych oświadczeń wynika, że udział Habilitanta w opracowanie większości z nich jest istotny. Publikacje są powiązane tematycznie i wpisują się w temat osiągnięcia. Za najbardziej wartościowe w dorobku naukowym Habilitanta uważam zaproponowanie nowego sposobu wytwarzania pianek z wykorzystaniem magnezu, dającego szerokie możliwości wytwarzania struktur porowatych oraz opracowanie podstaw technologii wytwarzania pianek metalicznych na bazie tytanu i tantalu z zastosowaniem sacharozy. Wyniki badań zawarte w publikacjach wskazanych jako osiągnięcie naukowe wskazują, że Habilitant bardzo dobrze poznał metody wytwarzania i charakterystyki mikro(struktury) i wybranych właściwości pianek metalicznych do zastosowań w inżynierii biomedycznej.

3. Ocena aktywności naukowo-badawczej oraz pozostałej aktywności zawodowej

Całkowity dorobek naukowy Habilitanta obejmuje autorstwo lub współautorstwo 35 publikacji naukowych, w tym 30 prac zostało opublikowanych w czasopismach z bazy JCR i 1 rozdział w monografii naukowej. Oprócz tematyki pianek metalowych i elektrochemicznych obróbek powierzchniowych jest współautorem prac z zakresu wytwarzania, charakterystyki mikrostruktury stopów aluminium, stopów tytanu i kompozytów. W bazie Scopus na dzień 12.02.2024 jest zarejestrowanych 40 publikacji. Całkowita liczba cytowań (bez autocytowań) wg bazy Scopus wynosi 234, natomiast indeks Hirscha wynosi 11. Uwzględniając 11-letni okres od uzyskania stopnia doktora nauk technicznych należy uznać te wskaźniki za dobre w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych był kierownikiem jednego projektu NCN SONATA 8 oraz wykonawcą w 4 projektach (1 - MNiSW, 1 - NCBiR i 2 - NCN). Aktywność naukowa wyrażona udziałem w projektach badawczych jest na dobrym poziomie i świadczy o dobrym przygotowaniu do samodzielnej pracy badawczej i znacznym zaangażowaniu w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa.

Ważnym przejawem aktywności naukowej Habilitanta był czynny udział w 17-stu konferencjach naukowych międzynarodowych i krajowych, podczas których wygłaszał referaty, w tym 5 referatów na zaproszenie.

W 2021 roku odbył roczny staż naukowy w Zakładzie Zaawansowanych Technologii Kształtowania w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytucie Obróbki Plastycznej, podczas którego realizował badania nad wytwarzaniem proszków kompozytowych z układu WC-Ti metodą wysokoenergetycznego mielenia kulowego oraz badania przy użyciu XRD i SEM. Odbył trzy 4 miesięczne staże przemysłowe w firmie Laboratorium Badawczo-Konstrukcyjne Zawiesi w 2017, 2018 i 2020 roku, podczas których realizował badania w zespole Laboratorium dla klientów przemysłowych.

Do aktywności naukowej Habilitanta wykraczającej poza Uczelnię należy zaliczyć współpracę z prof. Montasserem Dewidarem z Egiptu, potwierdzoną współautorskimi publikacjami i patentami z zakresu wytwarzania pianek metalicznych. Ogólnie zauważam jednak, że współpraca z ośrodkami zagranicznymi jest na słabym poziomie. Habilitant nie odbył żadnego stażu naukowego w ośrodku zagranicznym, ani nie brał udziału w żadnym projekcie międzynarodowym.

Na wyróżnienie należy duża aktywność Habilitanta związana z recenzowaniem 307 manuskryptów publikacji, w tym większość w trzech czasopismach *Materials Chemistry and Physics*, *Journal of Materials Engineering and Performance* i *Materials*. Był także członkiem zespołów redakcyjnych w czasopiśmie *Frontiers in Ceramics*, *Frontiers in Materials* i *Coatings*. Był recenzentem jednego wniosku projektowego dla Czech Science Foundation. Otrzymał kilka nagród JM Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe oraz stypendium Naukowe Miasta Poznania za wybitne osiągnięcia w dziedzinie inżynierii materiałowej a w szczególności inżynierii powierzchni bionanomateriałów tytanowych. Aktywnie współpracuje z sektorem gospodarczym. Jest autorem jednego i współautorem trzech patentów. Wykonał 7 ekspertyz na zamówienie instytucji publicznych i przedsiębiorców. **Podsumowując aktywność naukowo-badawczą stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane kandydatom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Należy zwłaszcza podkreślić dużą aktywność w recenzowaniu manuskryptów publikacji i współpracę z sektorem gospodarczym, a także udział w projektach NCN.**

Działalność dydaktyczna dr inż. Grzegorza Adamka związana jest przede wszystkim z kształceniem studentów na I i II stopniu studiów stacjonarnych i niestacjonarnych Politechniki Poznańskiej na kierunkach: Fizyka techniczna, Zarządzanie i inżynieria

produkcji, Logistyka, Inżynieria zarządzania, Inżynieria biomedyczna i Inżynieria materiałowa. Prowadził następujące wykłady – Materiałoznawstwo, Nauka o materiałach z elementami chemii, Nauka o materiałach i elementy chemii, Materiałoznawstwo - właściwości i zastosowanie materiałów, Właściwości nanomateriałów, Synteza nanomateriałów, Podstawy projektowania procesów wytwarzania nanomateriałów i Nanomateriały metaliczne oraz zajęcia laboratoryjne/projektowe - Korozja i ochrona przed korozją, Materiałoznawstwo, Nauka o materiałach i elementy chemii, Nowoczesne metody badań materiałów, Obróbka powierzchniowa biomateriałów, Właściwości nanomateriałów, Biomateriały i ochrona przed korozją, Badania właściwości biomateriałów i tkanek, Zaawansowane metody badania struktury i właściwości materiałów, Nanomateriały metalowo – ceramiczne. Za działalność dydaktyczną otrzymał wyróżnienie „Najlepszy prowadzący laboratoria” przyznane przez studentów Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej.

Habilitant był także promotorem pomocniczym 2 prac doktorskich, 32 prac dyplomowych, w tym 13 prac magisterskich i 19 prac inżynierskich, a także recenzentem 22 prac dyplomowych. Brał także aktywny udział w wydarzeniach popularyzujących naukę na rzecz Politechniki Poznańskiej i Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej. **Wymieniona powyżej aktywność dydaktyczna świadczy o dużym doświadczeniu Habilitanta w przekazywaniu wiedzy, także tej związanej z realizowanymi badaniami naukowymi.**

Dr inż. Grzegorz Adamek wykazywał się również osiągnięciami w zakresie aktywności organizacyjnej. Jest współopiekunem laboratorium SEM, sprawuje nadzór nad stanowiskami technologicznymi do mechanicznej syntezy i prasowania na gorąco, zaprojektował i wykonał komorę korozyjną przeznaczoną do badań elektrochemicznych, a także przygotował stanowiska badawcze do pomiarów kąta zwilżania, mikroskopii świetlnej, badań korozyjnych i termostatowania w sztucznym osoczu. Był także współorganizatorem 5-ciu warsztatów z możliwości badawczych różnych urzędów organizowanych przez firmy zewnętrzne.

4. Ocena końcowa

W mojej opinii osiągnięcie naukowe dr inż. Grzegorza Adamka pt.: „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu*” przedstawione do oceny w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa. Na podstawie szczegółowej analizy całego dorobku naukowego i aktywności

naukowej, stwierdzam, że dorobek ten jest wartościowy, a Kandydat wykazuje istotną aktywność naukową. Spełnia on zatem w stopniu zadawalającym kryteria stawiane kandydatom do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego.

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Poznańskiej o nadanie dr inż. Grzegorzowi Adamkowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Z poważaniem,

Tomasz Moskalenicz