

Recenzja

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego

dra inż. Grzegorza Adamka

ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia pt.

„Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu”

w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria materiałowa*

Recenzja została wykonana na podstawie decyzji Rady Doskonałości Naukowej z dnia 7 grudnia 2023 roku oraz uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Poznańskiej nr 114/2020-2024/2024 z dnia 12 stycznia 2024 r. i w zw. z art. 221 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2023 r. poz. 742) oraz dokumentacji merytorycznej w języku polskim przygotowanej przez dra inż. Grzegorza Adamka, którą stanowiły: *wniosek przewodni, dane wnioskodawcy, autoreferat wraz z wykazem publikacji, kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora, wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, oświadczenia współautorów poszczególnych prac, kopie dokumentów poświadczające poszczególne osiągnięcia naukowe, wykaz prac ujętych w powiązonym tematycznie cyklu publikacji naukowych.*

Sylwetka Habilitanta

Pan Grzegorz Adamek jest absolwentem kierunku inżynieria materiałowa Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. W czerwcu 2009 roku obronił pracę magisterską pt. *„Warstwa porowata na stopach Ti-6Al-4V”* w specjalności nanomateriały. Promotorem pracy magisterskiej był dr hab. inż. Jarosław Jakubowicz, prof. PP. Praca magisterska otrzymała wyróżnienie w konkursie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, a w konkursie INNEO zorganizowanym przez Poznański Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości we współpracy z Urzędem Marszałkowskim Województwa Wielkopolskiego na najlepsze prace dyplomowe z zakresu innowacyjności zajęła II miejsce.

Od września 2009 r. Habilitant zdobywał doświadczenie naukowe biorąc udział w pracach naukowo-badawczych Zakładu Nanomateriałów Funkcjonalnych Instytutu Inżynierii Materiałowej Politechniki Poznańskiej. Zgromadzone w tym czasie wyniki badań w zakresie elektrochemicznej obróbki stopów tytanu umożliwiły Panu Grzegorzowi Adamkowi otwarcie przewodu doktorskiego w marcu 2010 roku pod opieką dra hab. inż. Jarosława Jakubowicza, prof. PP. W październiku 2010 roku został zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Poznańskiej. Za osiągnięcia naukowe, na które składały się jedno zgłoszenie patentowe dotyczące sposobu wytwarzania materiałów porowatych oraz

dziewięć publikacji w recenzowanych czasopismach, w tym pięć z listy Journal Citation Reports, w 2010 roku Doktorant otrzymał Nagrodę Rektora Politechniki Poznańskiej. Wyniki tych badań prezentował na pięciu konferencjach naukowych. Badania wpisujące się w rozprawę doktorską prowadzone były w ramach grantu MNiSW „*Biomateriały i nanokompozyty porowate na bazie tytanu*”. W projekcie tym dr hab. inż. Jarosław Jakubowicz, prof. PP pełnił funkcję kierownika, natomiast Doktorant był głównym wykonawcą. Ponadto Wojewódzki Urząd Pracy w Poznaniu przyznał Panu Grzegorzowi Adamkowi na okres od 2011 do 2012 roku „*wsparcie stypendialne dedykowane doktorantom na kierunkach uznanych za strategiczne z punktu widzenia rozwoju Wielkopolski*”, które było współfinansowane ze środków Unii Europejskiej. **Stopień doktora** w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie inżynieria materiałowa nadany uchwałą Rady Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej Grzegorz Adamek uzyskał 27 września 2012 roku za rozprawę pt. „*Modyfikacja warstwy wierzchniej nanokrystalicznych stopów tytanu do zastosowań na implanty*”. Na stanowisko adiunkta w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Poznańskiej awansował w 2014 roku. Od 01.01.2020 roku pracuje w Instytucie Inżynierii Materiałowej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora Grzegorz Adamek kontynuował badania w obszarze biomateriałów koncentrując się na wytwarzaniu porowatości objętościowej w materiałach na bazie tytanu. Początkowo badania prowadzone były pod kierunkiem Profesora Jarosława Jakubowicza w ramach projektu NCN nt. „*Zbadanie procesu powstawania pianek metalowych na bazie Ti i Ta z zastosowaniem sacharozy jako środka generującego pory*”, w którym był głównym wykonawcą. Praca ta zaowocowała nowym pomysłem Habilitanta na wytwarzanie pianek, a w konsekwencji uzyskaniem grantu na realizację projektu NCN nt. „*Zbadanie procesu wytwarzania i właściwości pianek metalowych na bazie nanokrystalicznych stopów tytanu beta w procesie odstopowania magnezu*”. Ze względu na współpracę z profesorem Montasserem Dewidarem z Egiptu projekt ten miał status projektu międzynarodowego.

Równolegle z realizacją badań dotyczących tematyki pracy habilitacyjnej dr inż. Grzegorz Adamek poszerzał swoje kompetencje naukowe uczestnicząc jako wykonawca w pracach dwóch projektów odpowiednio:

- „*Opracowanie nowych nanokrystalicznych stopów i kompozytów tantalu wytworzonych metodą mechanicznej syntezy i spiekania impulsowo-plazmowego*” - projekt finansowany przez Narodowe Centrum Nauki.
- „*Materiał narzędziowy nowej generacji na osnowie tytanu wytwarzany w szybkim procesie spiekania iskrowo-plazmowego*” - projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju z programu LIDER XI.

W 2021 roku Habilitant odbył staż naukowy w Zakładzie Zaawansowanych Technologii Kształtowania w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytut Obróbki Plastycznej, gdzie wykonywał prace badawcze związane z wytwarzaniem proszków kompozytowych z układu WC-Ti metodą wysokoenergetycznego mielenia kulowego, analizy strukturalne XRD i mikroskopowe SEM pod kierunkiem dra inż. D. Garbca w ramach wyż. wym. projektu NCBiR z programu LIDER XI. Ponadto odbył trzy czteromiesięczne staże przemysłowe w firmie Laboratorium Badawczo-Konstrukcyjne Zawiesi (Luboń, Polska) w latach 2017, 2018 i 2020.

W latach 2017÷2023 podnosił swoje umiejętności twarde uzyskując osiem certyfikatów (8), a podczas czterech szkoleń umiejętności miękkie.

Za osiągnięcia naukowe w latach 2010÷2020 Pan Grzegorz Adamek otrzymał z rąk Rektora Politechniki Poznańskiej dziewięć nagród. Za wybitne osiągnięcia w dziedzinie inżynierii materiałowej, a w szczególności inżynierii powierzchni bionanomateriałów tytanowych w 2013 roku otrzymał Stypendium Naukowe Miasta Poznania. W 2017 roku w ogólnopolskim konkursie STUDENT-WYNALAZCA uzyskał

wyróżnienie jako współautor rozwiązania / patentu pt. „Sposób wytwarzania nanodendrytycznych cząstek srebra na implancie metalowym lub metalowo-ceramicznym, korzystnie tytanowym”.

Ocena dorobku naukowego

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój nauki wynikający z ustawy - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (j.t. Dz.U.2021r. poz.478 z późniejszymi zmianami) dr inż. Grzegorz Adamek wskazał cykl trzynastu (13) powiązanych tematycznie publikacji naukowych pod wspólnym tytułem „Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu”, które ukazały się w latach 2013-2022 w czasopiśmie naukowych: *Materials* [H1, H5, H11, H12 i H13], *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* [H3, H8 i H9], *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering* [H2], *International Journal of Electrochemical Science* [H4], *Materials Characterization* [H6], *Advanced Engineering Materials* [H7], *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* [H10],

Jednoautorskimi publikacjami są H8 i H9 odpowiednio z 2017 i 2019 roku. Habilitant był pierwszym autorem w wieloautorskich publikacjach H2, H3, H11, H12 i H13, natomiast w przypadku publikacji H3, H8, H9, H11, H12 i H13 pełnił funkcję autora korespondencyjnego. Dorobek ten jest między innymi efektem kontynuowanej współpracy z prof. dr hab. inż. Jarosławem Jakubowiczem, promotorem pracy magisterskiej i doktorskiej Grzegorza Adamka. Profesor Jarosław Jakubowicz jest współautorem jedenastu artykułów, czterech z nich H1, H4, H6 i H10 jest pierwszym autorem.

Wszystkie artykuły (H1÷H13) opublikowane zostały w czasopiśmie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports. Publikacje jednoautorskie H8 i H9 opublikowane zostały w czasopiśmie o wartościach wskaźnika Impact Factor odpowiednio 2.606 i 3.407. W tym zestawieniu najwyższymi wartościami wskaźnika IF wyróżniają się H11(IF 3.057), H12(IF 3.748) i H13(IF 3.748) opublikowane w czasopiśmie *Materials* w latach, odpowiednio 2019, 2022 i 2022.

W badaniach opublikowanych w H1, H2, H4÷H7 Habilitant był współautorem koncepcji i planu badań, natomiast w pozostałych publikacjach, tzn. H3 i H8÷H13 autorem koncepcji i planu badań, co jest zgodne z oświadczeniami współautorów.

Dr inż. Grzegorz Adamek jest także współautorem jednego rozdziału pt. “Porous nanostructure Ti-alloys for hard tissue implant applications” w monografii naukowej “*Nanomaterials : synthesis, characterisation and applications*” pod red. A.K. Haghi, A.K. Zachariah, N. Kalarikkal, Toronto-New Jersey, United States: Apple Academic Press, 2013, s. 79÷118 oraz autorem jednej ww. monografii naukowej - rozprawy doktorskiej

Ogółem opublikowanych zostało trzydzieści pięć (35) artykułów naukowych, z czego dwadzieścia osiem (28) po uzyskaniu stopnia doktora. W Jego dorobku znajduje się siedemnaście (17) naukowych artykułów opublikowanych w latach 2013-2023 z udziałem współautorskim czterech (4) pracowników naukowych jednostek zagranicznych, w tym dwa artykuły wpisujące się w jednotematyczny cykl (H1 i H10).

Ponadto Grzegorz Adamek był uczestnikiem 22 konferencji krajowych i międzynarodowych. Przed uzyskaniem stopnia doktora był uczestnikiem trzech (3) konferencji krajowych, jednej (1) międzynarodowej i jednej (1) Szkoły Inżynierii Materiałowej. Po uzyskaniu stopnia doktora brał udział w siedemnastu (17) konferencjach międzynarodowych, na pięciu z nich wygłosił pięć (5) referatów.

Sumaryczny współczynnik oddziaływania *impact factor* (IF) publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 32.318, natomiast sumaryczna liczba punktów ministerialnych 845, wszystkie zgodnie z rokiem opublikowania. Zgodnie z danymi z dnia 28.02.2024r. dotyczącymi całego dorobku Habilitanta liczba cytowań publikacji - bez autocytowań - wynosi 239 według Web of Science, a według bazy Scopus 294, natomiast Indeks Hircha według bazy Scopus wynosi 10 bez autocytowań, a z autocytowaniami 11.

Ocena dorobku naukowego

W zespole kość-implant materiał metaliczny o zbyt wysokim module sprężystości lub o sztywności znacznie większej niż kość będzie przynosił i utrzymywał całe obciążenie. Zjawisko to znane jest jako zjawisko ekranowania naprężeń, którego konsekwencją jest wchłanianie tkanki kostnej pozbawionej swojej funkcji z powodu braku obciążenia. Ponowne złamanie kości w wyniku urazu jest efektem obłuzowania implantu. Kluczowym punktem rozkładu sił w obszarze implantu i efektu osłony naprężeniowej jest moduł sprężystości biomateriału. W porównaniu do innych biometali to tytan zapewnia mniejszy efekt ochrony kości przed naprężeniami. Jest to jedno z ważniejszych kryteriów wyboru tego metalu. Ti ma ok. dwukrotnie mniejszy moduł sprężystości w porównaniu z innymi biometalami, takimi jak stopy kobaltu lub stal nierdzewna (SS). Jednak moduł sprężystości tytanu jest znacznie wyższy od modułu sprężystości kości zwartej, korowej, czy kości gąbczastej.

Głównym celem jednotematycznego cyklu trzynastu naukowych publikacji pt.: „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu*” było opracowanie sposobu wytwarzania pianek metalicznych na bazie tytanu lub tantalu. Struktury porowate są jednym z najnowszych trendów rozwoju biomateriałów. Zaletą pianek metalicznych jest to, że moduł Younga można precyzyjnie dostosować do modułu kości, aby uniknąć wyżej omówionych negatywnych efektów. Pierwsza część rozprawy habilitacyjnej Grzegorza Adamka obejmuje wyniki badań procesu metalurgii proszków z wykorzystaniem autorskiego pomysłu zastosowania krystalicznych granulek sacharozy jako nośników przestrzeni do wytwarzania porowatych rusztowań tytanowych lub tantalowych [H1÷H4]. Praca ta była efektem współpracy Habilitanta z profesorami Jarosławem Jakubowiczem oraz Montassem Dewidarem z Department of Materials and Mechanical Design, Faculty of Engineering Energy, Aswan University, Aswan, Egypt. Opracowany proces otrzymywania porowatych pianek polegał na wymieszaniu proszku dobranego metalu z porofoforem, jednoosiowym prasowaniu pod ciśnieniem 1000 MPa w celu zagęszczenia, następnie usuwaniu poroforu, a w kolejnym etapie spiekaniu swobodnym wypraski (*ang.* molded) w próżni. W przypadku wybranej do badań sacharozy, która pełniła funkcję poroforu, sposób jej usuwania polegał na rozpuszczeniu w wodzie destylowanej. Spiekanie tytanu odbywało się w temperaturze 1300°C, a tantalu 2000°C, w obu przypadkach ciśnienie wynosiło 10⁻²Pa. Zmiennymi parametrami były kształt kryształów sacharozy (wielościennie i kuliste), ich rozmiar oraz udział w mieszaninie z metalem, rozmiar proszków tytanu (100 i 325 mesh), a także czas mieszania proszków metali z sacharozą. Oceniano kształt, wielkość i objętość całkowitą porów, ich rozmieszczenie i wzajemne połączenie, grubość ścianek rusztowania, stan ich powierzchni, strukturę materiału pianek za pomocą mikrotomografu komputerowego i mikroskopii skaningowej SEM oraz ich właściwości mechaniczne, tj. wytrzymałość na ściskanie oraz moduł Younga wyznaczone w statycznej próbie ściskania i metodą nanoindentacji.

W przypadku tytanu oraz tantalu najkorzystniejsze z punktu widzenia dopasowania do właściwości mechanicznych kości, głównie kości gąbczastej, posiadały pianki o porowatości 50% z porami sferycznymi i wielkością cząstek proszku tytanu 100 mesh. Wzrost porowatości pogarszał właściwości wytrzymałościowe pianek tytanowych. Warunki spiekania pozwalały na reakcję chemiczną tytanu ze śladami tlenu, który był obecny pomimo zastosowanej próżni, w efekcie powstała na powierzchni rusztowania warstwa rutylu TiO₂. Z kolei warunki spiekania pianek tantalowych umożliwiły reakcję chemiczną tantalu z węglem, którego źródłem była sacharoza. W konsekwencji na powierzchni ścianek rusztowania ukonstytuowała się warstwa węgliku tantalu Ta₂C. O ile w obu przypadkach obecność warstw rutylu na tytanie oraz węgliku na tantalum sprzyjają odporności korozyjnej i biogodności materiału na implanty, jednak w dużej objętości materiału może sprzyjać pogorszeniu odporności implantu na kruche pękanie.

Wykazano, że rusztowania tytanowe i tantalowe można wytwarzać ze wstępnie zaprojektowanymi rozmiarami porów, zachowując jednocześnie wysoki poziom wzajemnych połączeń i sferyczne kształty porów

do zastosowań biomedycznych. O potencjale wrastania kości, szybkim i głębokim narastaniu tkanki kostnej w biomateriał, a tym samym lepszym posadowieniu implantu w kości decydują parametry porowatości, takie jak wielkość porów, wzajemne połączenia porów i porowatość. W celu efektywnego zaprojektowania rusztowania wymagane jest ilościowe określenie rozmiaru porów i połączeń. Pełna informacja o porowatości wymaga także znajomości rozkładu ich wielkości. Powstałe pory po rozpuszczeniu w wodzie ziarenek sacharozy osadzonych w spieku tytanowym lub tantalowym charakteryzowały się wielkościami o rozmiarach makro- i mikrometrycznych, natomiast pory powstałe w procesie spiekania metalu tworzącego rusztowanie wielkościami o rozmiarach submikrometrycznych. Do identyfikacji przestrzennej budowy mikroskopowej badanych pianek, pomiaru mikrometrycznych rozmiarów porów oraz przestrzennego rozmieszczenia porów i połączeń między nimi zastosowano mikrotomografię komputerową, natomiast submikrometryczne pory w rusztowaniach badano metodą skaningowej mikroskopii elektronowej.

Współpraca naukowa Habilitanta z zespołem profesora Mieczysława Jurczyka miała na celu opracowanie nowej generacji nanokompozytów tytanowo-bioceramicznych o budowie piankowej, ściśle określonym składzie chemicznym i fazowym, porowatości i morfologii powierzchni, które będą wykazywały szereg korzystnych cech z punktu widzenia materiałów przeznaczonych na implanty tkanek twardych [H5]. W badaniach zastosowano bioaktywny materiał o nazwie Bioszkło 45S5 zawierający 45 %mas. SiO₂, 24.5 %mas. CaO, 24.5 %mas. Na₂O oraz 6.0 %mas. P₂O₅. Materiały bioaktywne, mają właściwości osteoprzewodzące i mogą bezpośrednio wiązać się z żywą kością poprzez warstwę apatytu. Warto tu dodać, że idealny biomateriał pełniący funkcję substytutu kości powinien posiadać właściwości osteoprzewodzące i osteoindukcyjne oraz posiadać doskonałe właściwości mechaniczne. Tytan metaliczny jest uważany za materiał bioobojętny. Po przekształceniu tytanu w bioaktywny na drodze odpowiedniej obróbki chemicznej i termicznej staje się materiałem osteoprzewodzącym wykazując doskonałą zdolność tworzenia apatytu i wiązania się z żywą kością. W tym stanie jednak nie posiada zdolności osteoindukcyjnych.

Przedmiotem badań były pianki o składzie Ti-10% mas. 45S5 bioszkło-1% mas. Ag. Rolą Habilitanta w tych badaniach było między innymi wytworzenie za pomocą metody *space holder*, wykorzystującej sacharozę, pianek z nanokompozytowego proszku opracowanego przez zespół prof. Jurczyka. Nanokompozytowy proszek otrzymywano przez zmieszanie i mielenie w wysokowydajnym młynku kulowym mikrokystalicznego tytanu, amorficznego bioszka 45S5 i srebra. Po upływie 15 godzin mielenia uzyskano proszek złożony z amorficznej fazy ceramicznej i nanokrystalicznego tytanu o wielkości krystalitów ok. 10nm. Proces wytwarzania pianki był analogiczny do opracowanego dla tytanu i tantalum. Po procesie prasowania realizowano spiekanie wypraski zawierającej wielościennie krysztaly sacharozy w temperaturze 1300°C w próżni 10⁻²Pa. Otrzymano pianki typu Ti-bioszkło-Ag o porowatości około 70%, w których stwierdzono obecność połączonych wielościennych porów, a także warstw rutylu (TiO₂) z niewielką zawartością fazy TiO. Pomiary wartości wytrzymałości na ściskanie opracowanych pianek wykazały słabsze właściwości mechaniczne pianki kompozytowej z udziałem bioszka w porównaniu do kości. Zdaniem Autorów pracy wymagają one dalszej optymalizacji porowatości. Ponadto stwierdzono, że w stosunku do mikrokystalicznego tytanu kompozyty Ti-bioszkło-Ag posiadają lepszą odporność na korozję w płynie Ringera. Dodatek srebra w ilości 1%mas. powoduje, że materiał wykazuje zmniejszoną adhezję bakterii gronkowca złocistego. Wyniki tych badań opublikowano w czasopiśmie *Materials* w 2015 roku [H5].

Biomateriały zawierające wapń (Ca) i fosfor (P) mają działanie osteoindukcyjne jeśli posiadają specyficzną porowatą strukturę. Taki biomateriał może indukować tworzenie kości w wyniku implantacji w tkance miękkiej. Kontynuacja tych badań mogłaby wykazać istniejący w tych piankach potencjał.

W pracach [H1, H2, H3, H5, H6, H7, H10] przedstawiono wyżej wspomniane wyniki badań pianek wytworzonych prostą i taną metodą otrzymywania pianek metalicznych z wykorzystaniem powszechnie dostępnej sacharozy. Pan Grzegorz Adamek dostrzegał w wynikach badań istniejący potencjał, jednak nie kontynuował badań procesów wytwarzania pianek tytanowych i tantalowych z udziałem sacharozy jako

poroforu. Według Habilitanta *znalezienie kompromisu pomiędzy wysokim poziomem porowatości pianek tytanowych otrzymanych z udziałem sacharozy a ich odpowiednimi właściwościami wytrzymałościowymi jest niezwykle trudne* [strona 27 Autoreferat].

W 2014 roku Habilitant otrzymał pierwszy grant finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w roli kierownika projektu „Zbadanie procesu wytwarzania i właściwości pianek metalowych na bazie nanokrystalicznych stopów tytanu beta w procesie odstopowania magnezu”. W wyniku tych badań pojawiają się pierwsze autorskie publikacje Habilitanta **H8 i H9**, które wpisują się w rozprawę habilitacyjną oraz wieloautorskie, tj. **H10, H11 i H12**, w których jest pierwszym autorem. Analiza cytowanej literatury w publikacji **H8** sugeruje, że inspiracją zastosowania magnezu jako nośników przestrzeni do wytwarzania porowatych rusztowań były prace autorów Ziya Esen i Şakir Bor [[Processing of titanium foams using magnesium spacer particles, Scr. Mater. 56 \(2007\) 341–344](#) oraz [Characterization of Ti-6Al-4V alloy foams synthesized by space holder technique, Mat. Sci. Eng. A 528 \(2011\) 3200–3209](#)]. *Celem projektu było zbadanie mechanizmów wytwarzania pianek metalicznych ze stopów tytanu o strukturze beta z systemów Ti-Mg-Ta-Nb-Zr poprzez termiczne odstopowanie magnezu z nanokrystalicznego stopu wytworzonego za pomocą procesu mechanicznej syntezy. Zaletą tego rozwiązania jest fakt, że magnez samodzielnie usuwa się z wypraski, ponieważ podczas spiekania topi się i odparowuje. Magnez ma większe powinowactwo do tlenu w porównaniu do tytanu i tantalum, więc w warunkach procesu odstopowania może przyczyniać się dodatkowo do zapobiegania procesowi ich utleniania. Habilitant założył, że dzięki zastosowaniu procesu mechanicznej syntezy i konsolidacji nanokrystalicznych proszków stopu tytanu możliwe będzie otrzymanie porów o mniejszych wymiarach niż w technologii space holder.*

Procedura wytwarzania w ramach badań stopów i kompozytów na bazie tytanu i tantalum była analogiczna do wcześniej opracowanej. Jednoosiowe prasowanie prowadzono pod ciśnieniem 1000 MPa, następnie proces spiekania swobodnego w próżni (10^{-2} Pa) w temperaturze wyższej niż temperatura wrzenia magnezu wynosząca 1090°C.

W temperaturze poniżej temperatury wrzenia Mg proces spiekania prowadzi do zmniejszenia wielkości porów w wyprasce, a powyżej temperatury 1090°C rozpoczyna się proces odstopowania, magnez w stanie ciekłym dyfunduje na powierzchnię, gdzie odparowuje pozostawiając otwarte wgłębienia i pory. Proces spiekania dla stopów Ta-Ti prowadzony był w temperaturze 1500°C.

W publikacjach wchodzących w skład jednotematycznego cyklu [**H8, H11**] zaprezentowano wyniki badań pianek metalicznych wykonanych ze stopów tantalum i tytanu typu Ta-20Ti, Ta-30Ti oraz Ti-30Ta. Mechaniczne mielenie proszków umożliwiło podwyższenie rozpuszczalności magnezu w tytanie maksymalnie do 40%mas. Po kilkunastogodzinnym procesie mielenia tytan i magnez całkowicie rozpuszczały się w tantalum, otrzymywano nierównowagowe stopy tantalum o następującym składzie: Ta-20Ti-30Mg, Ta-20Ti-40Mg, Ta-30Ti-30Mg i Ta-30Ti-40Mg, dla których średnie rozmiary krystalitów wynosiły odpowiednio: 15 ± 2 , 16 ± 5 , 15 ± 4 , 15 ± 3 nm. Nie uniknięto jednak procesu utleniania, identyfikacja składu fazowego otrzymanych stopów tantalum wykazała obecność w cienkiej warstwie wierzchniej następujących tlenków tantalum, tytanu i magnezu Ta₂O, TiO₂, MgO i MgO₂.

Metoda termicznego odstopowania magnezu pozwoliła uzyskać materiał o szerokim zakresie wielkości porów od ok. 0,1 do ponad 100 µm. Pory są w większości połączone ze sobą, co jest bardzo ważne w aspekcie biomateriałów. Pory większe o wydłużonym kształcie i ostrych ściankach są połączone ze sobą, zaś mniejsze również w większości połączone ze sobą o średniej średnicy ok. 1 µm, z czego ok 20% wszystkich porów miało średnicę mniejszą niż 0,5 µm. Porowatość całkowita wynosiła 73 i 78% dla odpowiednio 30 i 40%mas. udziału magnezu. Autor pracy uznał, że właściwości mechaniczne badanych materiałów *silnie zależą od porowatości, niezależnie od składu chemicznego*. Wzrost porowatości prowadzi do pogorszenia właściwości mechanicznych. Wartości wytrzymałości na ściskanie i modułu Younga stopów Ta-20Ti/30Mg oraz Ta-30Ti/30Mg spełniają wymagania dla kości gąbczastej.

Z kolei dla otrzymania stopu tytanu typu Ti-30Ta-(30-50)Mg potrzebny był czas 40 godzin mielenia, aby mogły całkowicie zajść procesy rozpuszczania i przemiana fazowa α -Ti \rightarrow β -Ti. Wyniki badań stopu tytanu Ti-30Ta-(30-50)Mg opublikowano w pracy [H11]. W stopach o zawartości 40 i 50% Mg zaobserwowano dodatkową fazę międzymetaliczną typu Ti_xMg_y . Po upływie 5 i 40 godzin mielenia techniką MA (Mechanical Alloying) wielkość cząstek zmniejszała się odpowiednio od ponad 200 μ m do ok. 50 μ m. Całkowita porowatość uzyskanych pianek stopu tytanu wynosiła ok. 60, 72 i 76% dla stopów z udziałem magnezu odpowiednio 30, 40 i 50%mas. Podobnie i w tym przypadku termiczne odstopowanie magnezu powoduje tworzenie się połączonych ze sobą porów o stosunkowo dużej średnicy, a także szerokiego zakresu rozkładu wielkości porów od ok. 0,1 do 2 μ m oraz od 5 do ponad 90 μ m. Pory duże o wydłużonym kształcie, połączone ze sobą stanowią ok. 50% wszystkich porów, a te znacznie mniejsze o kulistych kształtach zlokalizowane były głównie w obszarach między większymi porami. Zaobserwowano, że ze wzrostem zawartości Mg całkowita porowatość rosła od 60 do 76 %. Analogicznie jak w przypadkach wyż. opisanych pianek tytanowych, tantalowych, pianek typu Ta-Bioszkło45S5-Ag oraz stopów Ta-Ti również dla stopu tytanu typu Ti-30Ta-(30-50)Mg wartości wytrzymałości na ściskanie i modułu Younga spełniają wymagania dla kości gąbczastej.

Nie w pełni mogę zgodzić się z wnioskami Autorów publikacji H8 i H11, którzy w podsumowaniu stwierdzili, że właściwości mechaniczne takich materiałów *silnie zależą od porowatości, natomiast wpływ składu chemicznego jest znikomy*. Wartości modułu Younga otrzymane na podstawie próby ściskania dla stopów Ti-30Ta/30Mg oraz Ta-30Ti/30Mg wynoszą odpowiednio $0,65 \pm 0,03$ i $0,41 \pm 0,03$ GPa, co stanowi 37% spadek modułu sprężystości stopu o 70% udziale tantalu w porównaniu do stopu tytanu z 30 % udziałem tantalu. Jest to znacząca różnica wartości modułu sprężystości. Z czego wynika wniosek, że ze wzrostem udziału tantalu w stopie tytanu moduł sprężystości rusztowania pianki się zmniejsza. Ze stanu wiedzy wynika, że właściwości mechaniczne tytanu można poprawić poprzez dodatek tantalu, którego obecność w stopie tytanu może potencjalnie zwiększać wytrzymałość i jednocześnie zmniejszać moduł sprężystości, a także zwiększyć odporność na korozję tytanu. Z powodu braku informacji o wytrzymałości na ściskanie materiału rusztowania w przedstawionej do recenzji dokumentacji nie można stwierdzić, że wyniki badań potwierdzają ten fakt, jednak nie można zgodzić się z wnioskiem znikomego wpływu składu chemicznego na właściwości mechaniczne pianek na bazie tytanu i tantalu.

Z kolei analiza wyników badań pokazuje, że porównanie wartości modułów Younga pianek wykonanych ze stopów tytanu, tj. Ti-30%Ta/30%Mg oraz Ti-30%Ta/50%Mg, które różnią się porowatością o 20% wykazuje spadek modułu Younga o 18,5%. Porównanie wartości modułów Younga pianek wykonanych ze stopów tytanu, tj. Ti-30%Ta/30%Mg oraz Ti-30%Ta/40%Mg wskazuje na spadek modułu Younga o 14%. Inne są wyniki porównań dla stopów tantalu. Pomiędzy analogicznymi stopami Ta-30Ti/30%Mg a Ta-30%Ti/40%Mg różnica wartości modułów Younga osiąga 63% spadek wartości. Należy w tym miejscu jednak podkreślić, że wprowadzanie do materiału porowatości ma bardzo pozytywny wpływ na obniżenie modułu Younga pianek w porównaniu do litych metali. Z punktu widzenia materiałów przeznaczonych na implanty tkanek twardych jest to niezwykle atrakcyjne zjawisko. Oczywiście w takich zastosowaniach należy brać pod uwagę zespół właściwości, co determinuje potrzebę znalezienia kompromisu pomiędzy korzystnym obniżeniem modułu sprężystości a zachowaniem wystarczających właściwości wytrzymałościowych.

Ocenę właściwości biologicznych wytwarzanych pianek wykonanych ze stopów Ti-Ta Habilitant realizował we współpracy z pracownikami Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu [H11]. Do oceny aktywności metabolicznej komórek osteoblastów i fibroblastów, tzn. żywotności, proliferacji i cytotoksyczności zastosowano test kolorymetryczny MTT. Uzyskane wyniki wykazały, że wszystkie przygotowane pianki wykonane ze stopu beta typu Ti-30Ta są nietoksyczne. Podsumowując, wyniki badań wykazały, że proces termicznego odstopowania magnezu może być alternatywą dla techniki typu *space*

holder. Pianki wykonane ze stopu beta typu Ti-30Ta charakteryzują się atrakcyjnymi właściwościami mechanicznymi i biologicznymi i mogą być dobrymi kandydatami do zastosowania na implanty w tkankach twardych.

W autorskiej publikacji [H9] Habilitant przedstawił wyniki badań obiecującego materiału do zastosowań w implantach tkanek twardych, czyli biokompatybilnego kompozytu piankowego typu Ta-2,5% mas. 45S5 Bioglass, który otrzymano analogiczną metodą termicznego odstopowania magnezu. Wypraski przygotowywano w procesie mechanicznej syntezy (Mechanical Alloying) oraz Mechanical Alloying +Mielenie. Pianki te charakteryzowały się homogennym rozkładem porowatości, otwartymi i połączonymi porami, regularnym kształcie oraz szerokim rozkładzie ich wielkości. 70% wielkości porów mieściła w zakresie 20÷1000 nm, a ok. 20% w przedziale 6÷100 µm. Średni poziom porowatości wynosił około 55 ± 2 i $57 \pm 3\%$ dla materiału przygotowanego odpowiednio przez MA całej mieszniny (Ta-2,5% mas. bioszkło 45S5-13,8% mas. Mg) oraz MA (Ta i Mg) +mieszanie z bioszklęm. Wyniki te były zbliżone do wartości zaprojektowanych. Oprócz tantalu skład fazowy spieków wykazał obecność tlenku tantalu Ta₂O₅ i związku tantalu z krzemem Ta_{3,28}Si_{0,72} po procesie bez mielenia, natomiast ich brak po procesie MA+mieszanie z bioszklęm.

Dodatek samego magnezu, a także bioszklę razem z magnezem do tantalu w procesie MA spowodował, że po procesie wytwarzania pianek następował wzrost parametru sieci tanatalu, odpowiednio o $3 \cdot 10^{-4}$ i $13 \cdot 10^{-4}$ nm. Średnie rozmiary krystalitów przygotowanych kompozytów/stopów wynosiły 50 ± 5 , 30 ± 6 nm odpowiednio dla Ta-2,5% 45S5 Bioglass-13,8% Mg oraz Ta-13,8% Mg.

Stosując test MTT oceniano aktywność cytotoksyczną pianek. Oceniano proliferację normalnych ludzkich osteoblastów i ludzkich komórek fibroblastów więzadeł przyzębia w pożywkach kondycjonowanych jako procent wartości względnej żywotności komórek pożywki referencyjnej, kondycjonowanej czystym, litym, µc-tantalem. Wyniki potwierdziły pozytywny wpływ udziału 45S5 Bioglass na biokompatybilność. Wszystkie badane próbki były nietoksyczne. Lepsze właściwości wykazały kompozyty przygotowane w procesie mechanicznej syntezy (MA) i mieszania z bioszklęm niż pianki przygotowane całościowo w procesie MA. Wyniki te były lepsze niż dla czystego litego tantalu.

Praca badawcza dotycząca układu Ti-Nb-Zr doprowadziła do opracowania procesu wytwarzania oraz oceny właściwości pianek ze stopu Ti₂₀Nb₅Zr [H12]. Proces ich wytwarzania składa się z etapu mechanicznej syntezy (Mechanical Alloying) i termicznego odstopowania magnezu. Dokonana została także ocena wpływu procesów obróbek elektrochemicznych powierzchni pianek na ich cytotoksyczność. Modyfikacja powierzchni pianek składała się z elektrochemicznych procesów trawienia oraz osadzania nanocząstek srebra. Rozwój naukowo-badawczy dra inż. Grzegorza Adamka w okresie po otrzymaniu stopnia doktora nauk technicznych oraz współpraca głównie z Profesorami J. Jakubowiczem [H1-H7, H10-H13] oraz M. Jurczykiem [H5, H11, H12] zaowocowała dającym się zauważyć rozwojem kompetencji Habilitanta w obszarze wytwarzania i badań pianek metalicznych Ti, Ta, Ti-45S5Bioglass, Ti-Ta, Ta-Ti, Ta-45S5Bioglass, a w konsekwencji opracowaniem bardzo wartościowego materiału badawczego dotyczącego pianek metalowych na bazie nanokrystalicznych stopów tytanu beta w procesie odstopowania magnezu [H8, H9, H11, H12]. Analogicznie do wyżej opisanych, pianki ze stopu Ti₂₀Nb₅Zr otrzymywano następująco:

40h

(*) mechaniczna synteza stopu: µc-(α-Ti+Nb+Zr+Mg) → nc-β-Ti₂₀Nb₅Zr₃₀Mg,

(**)..prasowanie na zimno stopu nc-β-Ti₂₀Nb₅Zr₃₀Mg (pod ciśnieniem 1000 MPa)

próżnia, T=1300°C, 4h

(***) termiczne odstopowanie magnezu: nc-β-Ti₂₀Nb₅Zr₃₀Mg → nc-β-Ti₂₀Nb₅Zr.

Monitorowanie mikrostruktury w czasie podczas spiekania stopu β-Ti₂₀Nb₅Zr₃₀Mg pozwoliło Grzegorzowi Adamczykowi i Współautorom pracy [H12] wykazać, że *proces usuwania magnezu rozpoczynał*

się poniżej temperatury wrzenia Mg. Całkowita porowatość wyniosła około 58,6%, co dobrze odpowiadało wartości projektowej (60%). Pory w większości były ze sobą połączone i charakteryzowały się stosunkowo szerokim zakresem rozkładu wielkości od skali submikro (od 0,25 do 1 μm) do mikro (od 1 do ponad 100 μm). Warto tu podkreślić, że proces termicznego odstopowania w porównaniu do techniki *space-holder* generuje mniejsze pory.

Wartością dodaną tej pracy badawczej są opisane wyniki obserwacji zmieniającej się mikrostruktury proszków $\mu\text{c}-(\alpha\text{-Ti+Nb+Zr+Mg})$ podczas procesu mechanicznej syntezy, zjawisk aglomeracji i kruszenia się cząstek, które po 40 godzinach mielenia osiągnęły średni rozmiar rzędu $51\pm 8\text{nm}$, a także wyniki obserwacji zmian składu fazowego po upływie 1, 10, 20 30 i 40 godzin mielenia. Ponadto, co jest szczególnie ważne z punktu widzenia procesów projektowania i wytwarzania pianek metalicznych, śledzenie rozwoju porowatości i zmian mikrostruktury rusztowania pianek podczas spiekania, czyli etapu zagęszczania proszków w temperaturze 500 i 800°C (spadek porowatości od 4,8 do 1,4%), a następnie etapu odparowywania magnezu i po procesie spiekania w temperaturze 1000, 1100 i 1300°C (wzrost porowatości od 25,7 do 58,6%).

Pewien niedosyt budzi brak pełnej identyfikacji dyfraktogramów przedstawionych w artykule [H12]. Nie odniesiono się do zachodzących przemian fazowych tytanu typu $\alpha \rightarrow \alpha' \rightarrow \alpha'' \rightarrow \beta$, które mogą być efektem postępującego procesu rozpuszczania niobu Nb i cyrkonu Zr w tytanie podczas mechanicznej syntezy (MA). Analiza ta pogłębiłaby zrozumienie/wyjaśnienie procesów zachodzących podczas mechanicznej syntezy stopu nc- β -Ti20Nb5Zr.

Na podstawie badań właściwości mechanicznych pianek o porowatości ok. 60% uzyskane w próbach ściskania i przy użyciu nanoindentera wykazano, że moduł sprężystości porowatych stopów nc- β -Ti20Nb5Zr obniżył się o ok. 140 razy w porównaniu do litego ich odpowiednika. Wartości wytrzymałości na ściskanie oraz modułu sprężystości były zbliżone do ludzkiej kości gąbczastej.

Dalsze badania mierzące do modyfikacji powierzchni ścianek pianek wykazały wygładzenie i rozwinięcie powierzchni rusztowań, powiększenie mniejszych porów oraz ich zmianę kształtu, a ponadto zaobserwowano zarodkujące w mniejszych porach srebro o strukturze dendrytycznej oraz jego nanocząstki o rozmiarach 30-100nm.

Analogicznie jak wcześniej [H11] aktywność cytotoksyczną analizowano stosując test MTT. Oceniano aktywność cytotoksyczną pianek przed i po elektrochemicznej modyfikacji. Wszystkie pianki ze stopów nc- β -Ti20Nb5Zr były nietoksyczne. Stwierdzono, że cytotoksyczność pianek nie poddanych modyfikacji elektrochemicznej zmniejszała się w czasie. Biofilm wszystkich badanych gatunków drobnoustrojów tworzył się mniej chętnie na powierzchni krążków modyfikowanych srebrem.

Podsumowując dokonania w obszarze wytwarzania struktur porowatych w procesie termicznego odstopowania magnezu - publikacje [H8, H9, H11, H12] - trudno nie zgodzić się z Habilitantem, że:

- *Mechaniczna synteza przy użyciu wysokoenergetycznego młyna jest skuteczną metodą otrzymywania stopów Ti-Mg i Ta-Mg z nanostrukturą i o nierównowagowej stechiometrii.*
- *Magnez stosowany jako pierwiastek stopowy do przygotowanych stopów tantalu i tytanu daje doskonale wyniki uzysku proszku i może pełnić dodatkową rolę środka kontroli procesu.*
- *Spiekanie w temperaturach wyższych niż temperatura wrzenia Mg prowadzi do oddzielenia tego pierwiastka od stopu, jego odparowania z próbki i zwiększenia porowatości stopów.*
- *W piankach wytwarzanych w procesie odstopowania Mg przeważnie obserwuje się dwa rodzaje porów: większe – połączone ze sobą, o wydłużonym kształcie i ostrych ścianach i mniejsze, również w większości połączone ze sobą.*
- *Właściwości mechaniczne badanych pianek silnie zależą od poziomu porowatości, kształtu i charakterystyki porów, a skład chemiczny spieków o tak dużej porowatości ma wręcz znikomy wpływ na właściwości mechaniczne mierzone w statycznej próbie ściskania.*

- *Metoda termicznego odstopowania magnezu może być alternatywą dla wytwarzania pianek metalicznych innymi metodami np. z użyciem poroforu.*
- *Obróbka elektrochemiczna pianek prowadzi do poprawy rozwinięcia powierzchni oraz może przyczynić się do poprawy właściwości biologicznych.*
- *Srebro osadzone na powierzchni pianek w postaci nanocząstek lub struktur o charakterze dendrytycznym (nanodrzewa) w zdecydowany sposób zmienia właściwości antybakteryjne i ma potencjał w zastosowaniach biomedycznych.*
- *Takie materiały charakteryzują się atrakcyjnymi właściwościami mechanicznymi i biologicznymi i mogą być dobrymi kandydatami do zastosowania na implanty w tkankach twardych.*

Całość jednotematycznego cyklu przedstawionego do recenzji zamyka publikacja [H13] zatytułowana *Preparation and Properties of Bulk and Porous Ti-Ta-Ag Biomedical Alloys*. Głównym celem tej pracy było zbadanie wpływu różnej zawartości (30, 40% mas.) tantalu (Ta) przy niewielkiej ilości (3,5% mas.) srebra (Ag) w trójskładnikowych stopach tytanu, jak również parametrów wytwarzania na mikrostrukturę, właściwości mechaniczne, odporność na korozję i zachowanie biologiczne. W pracy przedstawiono wyniki dla litych i porowatych stopów Ti-Ta-Ag. Pierwszym etapem badań było przygotowanie stopów proszkowych za pomocą mechanicznej syntezy MA. Pianki wytwarzano analogicznie do wyż. opisanej metody, czyli za pomocą mechanicznej syntezy MA, następnie konsolidacji w procesie prasowania na gorąco i spiekania z użyciem środka porotwórczego, w tym przypadku wybrano mocznik, czyli diamid kwasu węglowego - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Otrzymano pianki o niskim poziomie skurczu, które charakteryzowały się dużą gęstością i wysoką porowatością rzędu 70%, co było zgodne z wartościami projektowanymi. Wykazano, że tantal jest silnym stabilizatorem struktury β -Ti. Zgodnie z wynikami badań zawartość tantalu rzędu 40%mas. czas potrzebny do osiągnięcia struktury beta jest o ponad 40% krótszy niż dla stopów o zawartości 30%mas. tantalu. *Tantal ponadto wykazuje potencjał w zakresie ograniczenia rozrostu ziarna w badanych materiałach spiekanych.* Na mikrostrukturę i inne właściwości związane z biomateriałami silnie wpływają zarówno tantal, jak i srebro. Przedmiotem badań były następujące stopy Ti30Ta3Ag, Ti30Ta5Ag, Ti40Ta3Ag, Ti40Ta5Ag. Na porowatość składały się dwa rodzaje porów, tj. większych od 10 do ponad 200 μm , dobrze połączonych o nieregularnym kształcie oraz znacznie mniejszych od ok. 0,25 do 1 μm , które były umiejscowione w ściankach większych porów. Poziom skurczu był bardzo niski. Moduły sprężystości pianek były zbliżone do ludzkiej kości gąbczastej (0,1 do 2 GPa). Materiały te wykazały pozytywne zachowanie w teście MTT i wykazywały właściwości antybakteryjne. Wszystkie badane stopy były nietoksyczne. We wszystkich przypadkach pianki z układu Ti-Ta-Ag wykazały lepsze zachowanie w porównaniu z litym mikrokrystalicznym tytanem. Biofilm wszystkich badanych gatunków drobnoustrojów tworzył się na powierzchni próbek domieszkowanych srebrem znacznie rzadziej niż próbki referencyjnej. Redukcja tworzenia się biofilmu na materiałach domieszkowanych Ag była wysoka i często sięgała 70%. Większą redukcję obserwowano dla stopów o wyższym stężeniu srebra. Zdaniem Habilitanta i współautorów tej pracy materiały takie mogą znaleźć zastosowanie w produkcji implantów tkanek twardych.

Z przedstawionej do recenzji dokumentacji dorobku naukowego wyłania się obraz młodego, konsekwentnie rozwijającego się naukowca, realizującego własne pomysły wpisujące się w rozwój badań naukowych w obszarze wytwarzania i badań właściwości pianek metalicznych na bazie tytanu i tantalu. Zainteresowania naukowe oraz umiejętności Pana Grzegorza Adamka są wynikiem owocnej współpracy z profesorami Jarosławem Jakubowiczem, Montasserem Dewidarem (Kafrelsheikh University, Department of Mechanical Engineering, Kafr El Sheikh, Egypt) i Mieczysławem Jurczykiem oraz zespołem wyspecjalizowanych współpracowników macierzystej jednostki naukowej. Dorobek naukowy Habilitanta powstał także w oparciu o interdyscyplinarną współpracę w ramach realizacji zadań badawczych ze

współpracownikami innych jednostek naukowych w kraju, tj. Instytut Technologii Mechanicznej Uniwersytetu Technologicznego w Poznaniu, Katedra Genetyki i Mikrobiologii Farmaceutycznej Wydziału Farmaceutycznego, Katedra Mikrobiologii Farmaceutycznej i Parazytologii Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu, Zakład Zdrowia Matki i Dziecka, Klinika Ginekologii i Położnictwa Oddziału Rozrodczości, Katedra Immunobiochemii oraz Katedra Biologii i Nauk o Środowisku Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, Katedra Inżynierii Materiałowej Politechniki Lubelskiej, Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego, Instytut Obróbki Plastycznej w Poznaniu, Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu. W dorobku Grzegorza Adamka brak jest współpracy z otoczeniem gospodarczym na poziomie wdrożeń efektów Jego badań. Podsumowując osiągnięcia naukowe należy podkreślić, że Pan Grzegorz Adamek jako pierwszy wprowadził do literatury światowej określenie termiczne odstopowanie (ang. thermal dealloying) podczas spiekania. W jednotematycznym cyklu trzynastu publikacji zatytułowanym „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu*” opisał sposoby wytwarzania struktur porowatych w procesach, które należą do technologii *space holder* oraz *termicznego odstopowania* magnezu. Badania naukowe mają głównie charakter badań eksperymentalnych. W ramach badań opracowano szereg nowych pianek na bazie tantalu i tytanu, w tym z czystego tytanu, tantalu, kompozytów Ti-bioszkło, kompozytów Ta-bioszkło oraz stopów Ta-Ti / Ti-Ta, Ti-Nb-Zr, Ti-Ta-Ag. Dokonano oceny zmian mikrostruktury i morfologii na różnych etapach procesu ich wytwarzania, co pozwoliło na pogłębienie wiedzy dotyczącej mechanizmu powstawania struktur porowatych w procesie odstopowania magnezu. Zaprezentowano wyniki badań właściwości mechanicznych i biologicznych oraz modyfikacji powierzchni pianek stosując elektrochemiczne trawienie oraz osadzanie srebra. Ze względu na korzystne właściwości mechaniczne oraz biogodność opracowane pianki mają potencjalne zastosowanie do wytwarzania implantów tkanek twardych. Główny cel badań, czyli opracowanie sposobu wytwarzania pianek metalicznych na bazie tytanu lub tantalu został zrealizowany. Literatura rozprawy habilitacyjnej Pana Grzegorza Adamka pozostawia pewien niedosyt. Jaka była motywacja tak realizowanej pracy naukowo-badawczej? Czy obejmowała ona sprawdzenie opracowanej procedury wytwarzania pianek z zastosowaniem różnych kombinacji układów Ti-Ta? Jeżeli tak, to co z tego wynika? Z pewnością wszystkie wytworzone pianki mogą znaleźć zastosowanie w produkcji implantów tkanek twardych, głównie kości gąbczastej. Pan Grzegorz Adamek dostrzegał w wynikach badań istniejący potencjał, jednak nie kontynuował badań procesów wytwarzania pianek tytanowych i tantalowych z udziałem sacharozy jako poroforu, czy magnezu w procesie termicznego odstopowania. Czy poszukiwanie kompromisu pomiędzy wysokim poziomem porowatości pianek tytanowych otrzymanych z udziałem sacharozy a ich odpowiednimi właściwościami wytrzymałościowymi, czy optymalizacja wyników badań w przypadku tematyki dotyczącej kompozytów Ti-bioszkło lub Ta-bioszkło były niemożliwe? Brakuje głębokiej analizy krytycznej przedstawionego problemu i metodyki badawczej.

Do oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych Habilitanta zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy zaliczyć można:

- udział w projektowaniu, realizacji modernizacji i walidacji hydraulicznej maszyny wytrzymałościowej dedykowanej do badań osprzętu do podnoszenia o zakresie do 1000 kN we współpracy Laboratorium Badawczo-Konstrukcyjnym Zawiesi w Luboniu (Polska);
- projekt i wykonanie komory korozyjnej przeznaczonej do badań elektrochemicznych w Instytucie Inżynierii Materiałowej PP wykorzystywanej do celów naukowych i dydaktycznych.

Ocena dorobku dydaktycznego i upowszechniającego naukę

Dr inż. Grzegorz Adamek prowadził zajęcia dydaktyczne dla studentów różnych kierunków studiów, w tym dla Inżynierii materiałowej, Inżynierii biomedycznej, Logistyka, Inżynierii zarządzania, Zarządzania i inżynierii produkcji i Fizyki technicznej. Obejmowały one wykłady (W) na studiach I stopnia, tj.

Materiałoznawstwo, Nauka o materiałach z elementami chemii, Właściwości nanomateriałów, a na studiach II stopnia: *Synteza nanomateriałów, Podstawy projektowania procesów wytwarzania nanomateriałów oraz Nanomateriały metaliczne*. W zajęcia laboratoryjne na studiach I stopnia wpisują się następujące przedmioty: *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*. Habilitant prowadził również zajęcia laboratoryjne/projektowe na studiach II stopnia, są to *Badania właściwości biomateriałów i tkanek, Zaawansowane metody badania struktury i właściwości materiałów, Nanomateriały metalowo – ceramiczne*.

Na podstawie anonimowych ankiet przeprowadzanych przez Politechnikę Poznańską w ramach oceny wszystkich zajęć dydaktycznych i prowadzących te zajęcia nauczycieli Grzegorz Adamek otrzymał wyróżnienie „*Najlepszy prowadzący laboratoria*” przyznane przez studentów kierunków Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej.

W latach 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017 sprawował funkcję opiekuna studentów pierwszego roku na kierunku inżynieria materiałowa. Dr inż. Grzegorz Adamek pełnił funkcję promotora pomocniczego dwóch w.w prac doktorskich oraz promotora trzynastu (**13**) prac magisterskich na kierunkach inżynieria materiałowa i inżynieria biomedyczna oraz dziewiętnastu (**19**) prac inżynierskich. Recenzował osiem (**8**) prac magisterskich i jedenaście (**11**) prac inżynierskich na kierunkach inżynieria materiałowa i inżynieria biomedyczna oraz trzech (**3**) z Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej.

Dr inż. Grzegorz Adamek popularyzował naukę poprzez:

- współorganizację Pierwszego Ogólnopolskiego Dnia Inżynierii Materiałowej (ODIM) na Politechnice Poznańskiej pod patronatem PTM,
- udział w Otwartych Dniach Inżynierii Materiałowej - prowadzenie pokazów na mikroskopie świetlnym z wykorzystaniem autorskich próbek,
- udział w Nocy Naukowców - prowadzenie pokazów na mikroskopie świetlnym z wykorzystaniem autorskich próbek,
- reprezentowanie Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej na Targach Edukacyjnych (MTP Poznań),
- reprezentowanie Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej na Salonie Maturzystów Perspektyw 2023 organizowanym na Politechnice Poznańskiej,
- reprezentowanie Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej na Dniach Nauki 2023 organizowanych na Politechnice Poznańskiej,
- organizację i prowadzenie warsztatów dla uczniów liceów z mikroskopii skaningowej SEM,
- przygotowanie merytoryczne i opracowanie graficzne materiałów dydaktycznych/gier edukacyjnych opublikowanych na stronie internetowej WIMiFT.

Ocena działalności organizacyjnej

Działalność organizacyjna dra inż. Grzegorza Adamka to wyżej omówiona aktywność związana z pozyskiwaniem środków finansowych oraz nawiązywanie współpracy krajowej i międzynarodowej (prof. Montasserem Dewidarem z Egiptu) na realizację celu swoich badań naukowych. Podstawowym źródłem finansowania Jego badań były granty badawcze, w tym jeden (**1**) finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, trzy (**3**) finansowane przez Narodowe Centrum Nauki oraz jeden (**1**) przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju z programu LIDER XI. Funkcję kierownika projektu pełnił w jednym projekcie badawczym finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki

Oprócz tego w działalności organizacyjnej dra inż. Grzegorza Adamka wyróżnić należy także następujące aktywności:

- przygotowanie, organizacja i współprowadzenie laboratorium mikroskopii SEM w Instytucie Inżynierii Materiałowej PP (nadzór nad urządzeniami, kontakt z serwisem, bieżące szkolenia pracowników),
- przygotowanie i nadzór nad stanowiskami technologicznymi do mechanicznej syntezy i prasowania na gorąco w Instytucie Inżynierii Materiałowej PP (nadzór nad urządzeniami, bezpośredni serwis, bieżące szkolenia pracowników),
- przygotowanie stanowisk badawczych do pomiarów kąta zwilżania, mikroskopii świetlnej, badań korozyjnych i termostatowania w sztucznym osoczu.
- współorganizowanie (po stronie Politechniki Poznańskiej) warsztatów z możliwości badawczych cyfrowego mikroskopu Keyence VHX6000, organizowanych przez firmę Keyence w Instytucie Inżynierii Materiałowej (2023),
- współorganizowanie (po stronie Politechniki Poznańskiej) warsztatów z możliwości badawczych cyfrowego mikroskopu Olympus DSX1000, organizowanych przez firmę Olympus w Instytucie Inżynierii Materiałowej (2023),
- współorganizowanie (po stronie Politechniki Poznańskiej) warsztatów z możliwości badawczych urządzenia Bruker UMT Tribolab, organizowanych przez firmę Labsoft w Instytucie Inżynierii Materiałowej (2019),
- współorganizowanie (po stronie Politechniki Poznańskiej) warsztatów z możliwości badawczych mikroskopu Tescan Mira 3, organizowanych przez firmę Uniexport w Instytucie Inżynierii Materiałowej (2017),
- współorganizowanie (po stronie Politechniki Poznańskiej) warsztatów z możliwości badawczych urządzenia Kruss Drop Shape Analyzer DSA25, organizowanych przez firmę Meranco w Instytucie Inżynierii Materiałowej (2016).

Spośród innych aktywności Habilitanta wyróżnić należy:

- opracowanie 307 recenzji prac dla czasopism z listy JCR,
- członkostwo w The American Ceramic Society,
- opracowanie siedmiu (7) ekspertyz dla przemysłu, w tym dla: Instytutu Obróbki Plastycznej INOP (2), Laboratorium Badawczo-Konstrukcyjnego Zawiesi (3), Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznańskiego Instytutu Technologicznego (1) i ADVANCED PHOSPHORUS REMOVAL SOLUTIONS Spółka z o.o. (1).

Ocena końcowa i wnioski

Przedłożony do oceny jednotematyczny cykl publikacji pod tytułem „*Porowate biomateriały metalowe na bazie tytanu i tantalu*” stanowi niezwykle istotny wkład Habilitanta w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa. Osiągnięcia naukowe Habilitanta posiadają bardzo dużą wartość eksperymentalną i poznawczą, pozytywnie należy ocenić też dorobek organizacyjny i dydaktyczny. Badania naukowe Habilitanta mają charakter głównie badań eksperymentalnych.

Uważam, że dr inż. **Grzegorz Adamek** jest doświadczonym naukowcem o dobrym dorobku naukowym, którego osiągnięcia wpisują się w rozwój dyscypliny *inżynieria materiałowa*. Świadczą o tym także dane bibliometryczne. Całokształt tych wyników dowiódł realizacji celu rozprawy habilitacyjnej. Opracowane przez Habilitanta w skali laboratoryjnej sposoby wytwarzania pianek metalicznych wymagają dalszych badań rozwojowych, a w dalszej kolejności działalności zmierzających do wdrożenia.

Na podstawie dokonanej oceny osiągnięcia naukowego przedstawionego w cyklu 13 publikacji naukowych oraz pozostałych osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych stwierdzam, że dr inż. Grzegorz Adamek wykazał się kompetencją i dojrzałością w stopniu uzasadniającym uzyskanie samodzielności naukowej i spełnia wymagania Art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2021 poz. 478). **Popieram wniosek o nadanie dr inż. Grzegorzowi Adamkowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk techniczno-inżynierskich w dyscyplinie inżynieria materiałowa.**

Anna Biedunkiewicz